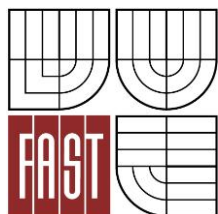




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# NÁVRH SPECIÁLNÍCH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ SAL URČENÝCH PRO OPRAVU CEMENTOBETONOVÝCH KRYTŮ

DESIGN OF SPECIAL ASPHALT MIXTURES SAL FOR THE REPAIR OF CEMENT  
CONCRETE PAVEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. MARTIN KALFEŘT

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2013

[Zadejte text.]



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. MARTIN KALFEŘT
<b>Název</b>	Návrh speciálních asfaltových směsí SAL určených pro opravu cementobetonových krytů
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2013
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013

.....  
doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

[Zadejte text.]

## **Podklady a literatura**

TP 147 Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky.

Coufalík, P.: Diplomová práce - Návrh a posouzení směsi pro asfaltové vrstvy se zvýšenou odolností proti šíření trhlin.

Konference Asfaltové vozovky: Odborné články odpovídajícího zaměření.

Články ze zahraničních konferencí.

## **Zásady pro vypracování**

Diplomová práce bude zaměřena na návrh směsí typu SAL určených pro překrytí opravovaných cementobetonových krytů segmentací s následným položením asfaltových vrstev. Optimalizace směsí bude probíhat zejména na základě provedení a vyhodnocení funkčních zkoušek. Při návrhu budou porovnány různé druhy směsí a různé druhy pojiv.

## **Předepsané přílohy**

.....

doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí diplomové práce

**LICENČNÍ SMLOUVA**  
**POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO**  
uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení:

Bytem:

Narozen/a (datum a místo):

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta .....

se sídlem .....

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

**Čl. 1**  
**Specifikace školního díla**

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

☐ disertační práce

☐ diplomová práce

☐ bakalářská práce

☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: .....

Vedoucí/ školitel VŠKP: .....

Ústav: .....

Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

☐ tištěné formě – počet exemplářů .....

☐ elektronické formě – počet exemplářů .....

\*hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

[Zadejte text.]

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
  - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
  - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
  - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
  - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

## **Abstrakt**

V této diplomové práci se navrhuje vrstva se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL). V teoretické části je popsána vrstva SAL, dále jsou popsány vstupní materiály, jejich výroba a návrh jednotlivých směsí. Následuje popis použitých zkoušek, mezi které patří například zkoušky trvalých deformací, šíření trhlin, nízkoteplotních charakteristik, zkoušky v tahu za ohybu a relaxace. Po té jsou uvedeny výsledky zkoušek a závěr.

## **Klíčová slova**

Asfaltová směs, SAL, RMB, RM+, Marshallova zkouška, trvalé deformace, šíření trhlin, nízkoteplotní vlastnosti, tah za ohybu, relaxace, experiment

## **Abstract**

In this thesis layer with increased resistance to crack propagation (SAL) are designed. The theoretical part describes the SAL layer, further the input materials, their production and design of various mixtures. The following is a description of the tests, which include tests of permanent deformation, crack propagation, low-temperature characteristics, test, flexural strength and relaxation. After the test results and conclusion are stated.

## **Keywords**

Asphalt mixture, SAL, RMB, RM+, Marshall test, permanent deformation, crack propagation, low-temperature test, bending tensile test, relaxation, experiment

## **Bibliografická citace VŠKP**

KALFEŘT, Martin. *Návrh speciálních asfaltových směsí SAL určených pro opravu cementobetonových krytů*. Brno, 2013. 90 s., 37 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7.1.2013

.....  
podpis autora  
Martin Kalfeřt

[Zadejte text.]



### **Poděkování:**

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi, Ing. Ondřeji Daškovi, Ing. Pavlovi Coufalíkovi, Pavlu Strakovi a dalším pracovníkům laboratoře za čas, trpělivost a nespočet odpovědí, které jsem dostal při mnoha mých dotazech.

Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům firmy Consultest s.r.o. v Brně za poskytnuté rady a pomoci.

Samozřejmě můj vděk patří i mé rodině za nekonečnou podporu v celé délce mého studia.

[Zadejte text.]

# OBSAH:

<b>OBSAH:</b>	<b>- 10 -</b>
<b>1. ÚVOD:</b>	<b>- 13 -</b>
1.1. PODMĚT K PRÁCI:	- 13 -
1.2. CÍL PRÁCE:	- 13 -
<b>2. VRSTVA SAL</b>	<b>- 15 -</b>
2.1. CO JE TO SAL : <sup>[1]</sup>	- 15 -
2.2. PROČ VRSTVU SAL:	- 15 -
<b>3. VSTUPNÍ MATERIÁLY A JEJICH ZKOUŠENÍ:</b>	<b>- 16 -</b>
3.1. VSTUPNÍ MATERIÁLY:	- 16 -
3.1.1. Kamenivo:	- 16 -
3.1.2. Pojivo:	- 17 -
3.1.2.1. Výroba RMB: <sup>[2]</sup>	- 17 -
3.2. ZKOUŠENÍ VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ:	- 19 -
3.2.1. Zkoušky kameniv:	- 19 -
3.2.1.1. Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor: <sup>[3]</sup>	- 19 -
3.2.2. Zkoušení pojiv:	- 28 -
3.2.2.1. Stanovení penetrace jehlou: <sup>[4]</sup>	- 28 -
3.2.2.1.1. Dosažené výsledky na pojivech:	- 30 -
3.2.2.2. Bod měknutí – Kroužek Kulička: <sup>[5]</sup>	- 32 -
3.2.2.3. Stanovení dynamické viskozity: <sup>[6]</sup>	- 36 -
<b>4. ASFALTOVÉ SMĚSI:</b>	<b>- 38 -</b>
4.1. POUŽÍVANÉ MATERIÁLY:	- 38 -
4.2. NÁVRH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ:	- 38 -
4.2.1. Navržené směsi:	- 39 -
4.2.1.1. Zavřené směsi:	- 39 -
4.2.1.1.1. Směsi s pojivem RM+	- 39 -
4.2.1.1.2. Směsi s pojivem RMB	- 43 -
4.2.1.2. Otevřené směsi:	- 44 -
4.3. VÝROBA ASFALTOVÝCH SMĚSÍ: <sup>[7]</sup>	- 45 -
4.3.1. Příprava zařízení:	- 45 -
4.3.2. Postup při výrobě směsí:	- 46 -
4.3.3. Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem: <sup>[8]</sup>	- 47 -
4.3.3.1. Příprava směsi a zařízení:	- 47 -
4.3.3.2. Postup zkoušky:	- 48 -
4.3.3.3. Vyhodnocení Zkoušky:	- 48 -
4.3.4. Příprava zkušebních desek: <sup>[9]</sup>	- 49 -
4.3.4.1. Příprava směsi a hutnicího zařízení:	- 50 -
4.3.4.2. Postup hutnění:	- 50 -
4.3.5. Stanovení maximální objemové hmotnosti: <sup>[10]</sup>	- 50 -
4.3.5.1. Podstata zkoušky:	- 50 -

4.3.5.2.	Příprava a Postup zkoušky: .....	- 51 -
4.3.5.3.	Postup výpočtu: .....	- 51 -
4.3.6.	<i>Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa:</i> <sup>[11]</sup> .....	- 52 -
4.3.6.1.	Příprava zařízení a zkušebních těles: .....	- 52 -
4.3.6.2.	Postup zkoušky: .....	- 52 -
4.3.6.3.	Vyjádření výsledků: .....	- 52 -
4.3.7.	<i>Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí:</i> <sup>[12]</sup> .....	- 53 -
4.3.7.1.	Příprava těles a zařízení: .....	- 53 -
4.3.7.2.	Výpočet mezerovitosti asf. směsi: .....	- 53 -
4.4.	ZKOUŠENÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ: .....	- 54 -
4.4.1.	<i>Zkouška trvalých deformací – poježdění kolem:</i> <sup>[13]</sup> .....	- 54 -
4.4.1.1.	Výroba zkušebních těles: .....	- 54 -
4.4.1.2.	Postup zkoušky: .....	- 54 -
4.4.1.3.	Vyhodnocení zkoušky: .....	- 55 -
4.4.2.	<i>Stanovení vlastností asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu:</i> <sup>[14]</sup> .....	- 56 -
4.4.2.1.	Příprava zkušebních těles: .....	- 56 -
4.4.2.2.	Postup zkoušky: .....	- 56 -
4.4.2.3.	Výpočet a vyhodnocení zkoušky: .....	- 57 -
4.4.3.	<i>Zkouška relaxace asfaltových směsí:</i> <sup>[15]</sup> .....	- 58 -
4.4.3.1.	Příprava zkušebních těles: .....	- 58 -
4.4.3.2.	Provádění zkoušky: .....	- 59 -
4.4.3.3.	Výpočet a vyhodnocení zkoušky: .....	- 60 -
4.4.4.	<i>Šíření trhlin na půlválcovém tělese:</i> <sup>[16]</sup> .....	- 61 -
4.4.4.1.	Podstata zkoušky: .....	- 61 -
4.4.4.2.	Příprava zkušebního zařízení a vzorků: .....	- 62 -
4.4.4.3.	Postup zkoušky: .....	- 62 -
4.4.4.4.	Vyhodnocení zkoušky: .....	- 63 -
4.4.5.	<i>Nízkoteplotní vlastnosti:</i> <sup>[17]</sup> .....	- 64 -
4.4.5.1.	Příprava zkušebních těles a zařízení: .....	- 65 -
4.4.5.2.	Postup zkoušky: .....	- 65 -
4.4.5.3.	Vyhodnocení zkoušky: .....	- 66 -
4.4.6.	<i>Experimentální zkouška měření únavových charakteristik asfaltových těles:</i> <sup>[18]</sup> .....	- 67 -
4.4.6.1.	Příprava zkušebních těles a zařízení: .....	- 67 -
4.4.6.2.	Průběh zkoušky: .....	- 67 -
4.4.6.3.	Výsledky experimentu: .....	- 67 -
4.5.	VÝSLEDKY ZKOUŠEK: .....	- 68 -
4.5.1.	<i>Mezerovitost – maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost:</i> .....	- 68 -
4.5.1.1.	Zavřené směsi: .....	- 69 -
4.5.1.2.	Otevřené směsi: .....	- 70 -
4.5.2.	<i>Výsledky zkoušky trvalých deformací:</i> .....	- 71 -
4.5.3.	<i>Výsledky zkoušky v tahu za ohybu:</i> .....	- 74 -
4.5.4.	<i>Výsledky relaxace asfaltových směsí:</i> .....	- 75 -
4.5.5.	<i>Výsledky šíření trhlin na půlválcovém tělese:</i> .....	- 78 -
4.5.6.	<i>Výsledky nízkoteplotních vlastností:</i> .....	- 80 -
4.5.7.	<i>Experimentální zkouška měření únavových charakteristik asfaltových těles:</i> .....	- 82 -
4.6.	SOUHRNNÉ VÝSLEDKY ZKOUŠEK: .....	- 83 -
5.	<b>ZÁVĚR:</b> .....	- 84 -
6.	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:</b> .....	- 86 -

6.1.	SEZNAM POUŽITÝCH NOREM A PŘEDPISŮ .....	- 86 -
6.2.	DALŠÍ POUŽITÉ ZDROJE: .....	- 87 -
<b>7.</b>	<b>SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ:.....</b>	<b>- 88 -</b>
6.3.	SEZNAM TABULEK: .....	- 88 -
6.4.	SEZNAM OBRÁZKŮ: .....	- 89 -
6.5.	SEZNAM GRAFŮ: .....	- 90 -
<b>8.</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>- 91 -</b>
8.1.	SÍTOVÉ ROZBORY .....	- 91 -
8.1.1.	<i>Kamenivo 2-4: .....</i>	<i>- 91 -</i>
8.1.2.	<i>Kamenivo 4-8: .....</i>	<i>- 93 -</i>
8.1.3.	<i>Filer: .....</i>	<i>- 95 -</i>
8.2.	NÁVRHY SMĚSÍ: .....	- 97 -
8.2.1.	<i>Zavřená směs RM+: .....</i>	<i>- 97 -</i>
8.2.2.	<i>Zavřená směs RMB: .....</i>	<i>- 98 -</i>
8.2.3.	<i>Otevřená směs RMB: .....</i>	<i>- 99 -</i>
8.3.	PROTOKOLY ZHUTNĚNÝCH DESEK: .....	- 100 -
8.3.1.	<i>Desky ze zavřené směsi RM+: .....</i>	<i>- 100 -</i>
8.3.2.	<i>Desky ze zavřené směsi RMB: .....</i>	<i>- 105 -</i>
8.3.3.	<i>Desky z otevřené směsi RMB: .....</i>	<i>- 110 -</i>
8.4.	PROTOKOLY ZE ZKOUŠKY TRVALÝCH DEFORMACÍ: .....	- 114 -
8.4.1.	<i>Zavřená směs RM+: .....</i>	<i>- 114 -</i>
8.4.2.	<i>Zavřená směs RMB: .....</i>	<i>- 115 -</i>
8.4.3.	<i>Otevřená směs RMB: .....</i>	<i>- 116 -</i>
8.5.	DOKUMENTACE ZE ZKOUŠKY V TAHU ZA OHYBU: .....	- 117 -
8.5.1.	<i>Směs RM+ zavřená: .....</i>	<i>- 117 -</i>
8.5.2.	<i>Směs RMB zavřená: .....</i>	<i>- 118 -</i>
8.5.3.	<i>Směs RMB otevřená: .....</i>	<i>- 119 -</i>
8.6.	GRAFY ZE ZKOUŠKY ŠÍŘENÍ TRHLIN NA PŮLVÁLCOVÉM TĚLESE: .....	- 120 -
8.6.1.	<i>Směs RM+ zavřená: .....</i>	<i>- 120 -</i>
8.6.2.	<i>Směs RMB zavřená: .....</i>	<i>- 122 -</i>
8.6.3.	<i>Směs RMB otevřená: .....</i>	<i>- 124 -</i>
8.7.	GRAFY ZE ZKOUŠKY NÍZKOTEPLOTNÍCH VLASTNOSTÍ: .....	- 126 -
8.7.1.	<i>Směs RM+ zavřená: .....</i>	<i>- 126 -</i>
8.7.2.	<i>Směs RMB zavřená: .....</i>	<i>- 126 -</i>
8.7.3.	<i>Směs RMB otevřená: .....</i>	<i>- 127 -</i>

# 1. ÚVOD:

## 1.1. Podmět k práci:

Podmětem k vykonání mé diplomové práce byl, obdobně jako u bakalářské práce, s mým vedoucím diplomové práce doc. Dr. Ing. Michalem Varausem, rozhovor o stavu pozemních komunikací, zejména pak stavu cementobetonových krytů na silniční síti v České republice. Z tohoto rozhovoru vyplynulo, že je třeba optimalizovat takovou vrstvu, která by přenesla v první řadě tahová napětí již od vzniklých trhlin na stávající vozovce a zabráňovala jejich dalšímu šíření dále do ložních popř. i do obrusných asfaltových vrstev opravené komunikace.

Z tohoto důvodu jsme dospěli k názoru, že je třeba pod obrusnou, nebo pod obrusnou a ložní vrstvu, umístit vrstvu SAL, která by měla těmto problémům co nejvíce vyhovovat a v co možná největší míře je eliminovat. Jednalo se nám o optimalizaci funkčních vlastností vrstvy SAL.

Dalším důvodem a podmětem byla předcházející diplomová práce Ing. Pavla Coufalíka, který se tímto problémem zajímal ve velké míře jednak v oblasti, které připouští technické podmínky TP 147 Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky a dále pak prováděl experimentální práce i mimo vymezené rozsahy přípustných parametrů tohoto předpisu. V mé diplomové práci se jednalo o další rozpracování dosažených výsledků a posouzení funkčních parametrů s dvěma druhy gumoasfaltového pojiva.

## 1.2. Cíl práce:

Jak již bylo zmíněno, bylo třeba navrhnout takové směsi s odolností proti šíření trhlin (SAL), aby vyšly výsledné zkoušky a hodnoty v laboratoři, jimiž bychom se mohli dopracovat k takovým závěrům, že bychom mohli navržené směsi umístit do konstrukce vozovky a být si v co největší míře, jisti, že daná konstrukce vozovky vydrží na navrhované období životnosti.

Předmětem návrhu byly směsi s odlišnou čarou zrnitosti a s odlišným dávkováním pojiva, aby výsledné mezerovitosti směsi dosahovaly mezerovitosti kolem 2-3% pro směsi typu SAL po ložní vrstvy a 4-5% pro směsi typu SAL pod obrusné vrstvy. Tyto směsi byly navrhovány pomocí Marshallovy zkoušky částečně s využitím předpisů TP 147 a TP 148. Na vyhotovených směsích byly provedeny následující zkoušky: Odolnost proti vzniku trvalých deformací, nízkoteplotní charakteristiky, zkoušení směsi zkouškou v tahu za ohybu a následná relaxace asfaltové směsi a jako poslední zkouška na asfaltových směsích byla zkouška šíření trhlin na půlválcovém tělese.

Podle zadání byly zkoušky zhotoveny dle aktuálních českých předpisů, především z řady ČSN EN 12697 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Prováděné zkoušky:

Laboratorní výroba směsi dle	ČSN EN 12697-35+A1
Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem dle	ČSN EN 12697-30+A1
Stanovení maximální objemové hmotnosti dle	ČSN EN 12697-5+A1
Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa dle	ČSN EN 12697-6+A1
Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek dle	ČSN EN 12697-33+A1
Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí dle	ČSN EN 12697-8
Zkouška pojiždění kolem dle	ČSN EN 12697-22+A1
Nízkoteplotní vlastnosti dle	ČSN EN 12697-46
Stanovení vlastností asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu dle TP 151	
Zkouška relaxace asfaltových směsí dle	TP 151
Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese	ČSN EN 12697-44

Z vyhotovených směsí jsme nakonec vybrali 3 reprezentativní směsi, které se lišily obsahem a druhem asfaltu a rozdílnou čarou zrnitosti, na kterých byly provedeny všechny výše uvedené zkoušky pro asfaltové směsi.

V závěru se ohlédneme za dosaženými výsledky u těchto tří směsí a porovnáme do jakého místa, jestli vůbec, je navržená vrstva vhodná, nebo zda ji vyloučíme jako nevhodnou do konstrukce vozovky

## 2. Vrstva SAL

### 2.1. Co je to SAL : [1]

Vrstva SAL pochází z anglického překladu Stress Absorbing Layer = SAL. Je to vrstva nebo mezivrstva z asfaltové směsi, která má zvýšenou odolnost proti šíření trhlin. Jedná se o speciální asfaltovou směs, která je určena přímo pro tyto problémy typu asfaltový koberec tenký nebo mikrokoberec popř. nátěr. Vrstva má za nízkých teplot několikanásobně větší průtažnost než vrstvy z běžných směsí a materiálů, což přispívá ke zpomalení šíření trhlin do vrchní části konstrukce vozovky ze spodní konstrukce vozovky.

### 2.2. Proč vrstvu SAL:

Vrstvu SAL jsme si vybrali z důvodu nutných budoucích a momentálních oprav cementobetonových krytů v České republice.

Tato vrstva by mohla patřit do návrhu rekonstrukcí vozovek s CB krytem, nebo jako vrstva na stmelené podkladní směsí, s ohledem na tvorbu reflexních trhlin u cementem stmelených směsí. V neposlední řadě tato vrstva pomůže i krytu vozovky při dlouhotrvajícím prokopírování podélných a příčných trhlin na opakovaně opravované vozovce.



Obrázek 1 a 2: Příčné trhliny v konstrukci vozovky<sup>[19]</sup>



## 3. Vstupní materiály a jejich zkoušení:

### 3.1. Vstupní materiály:

#### 3.1.1. Kamenivo:

Kamenivo bylo dovezeno z kamenolomu Luleč, který leží západně od Vyškova. Vápencová moučka je z lokality Mokrá.

Odběr kameniva byl ze zásobníku kameniv z obalovny v Rajhradcích. Odběr probíhal dle evropské normy pro odběr kameniva.

Všechny druhy kameniv byly přivezeny v pytlích. Jednotlivé frakce se po dovezení zhomogenizovaly, tedy byly vysypány na zem a několikrát přesypány a zpět uloženy do připravených pytlů.

Základní frakce pro návrh vrstev SAL jsme tedy volili: 0-4, 2-4 a 4-8, které byly zkoušeny dle evropských norem na síťový rozbor.



Obrázek 3 a 4: Odebírání kameniva



### 3.1.2. Pojivo:

Při vyhotovení této práce byla dovezena 2 asfaltová pojiva a 1 asfaltové pojivo bylo vyrobeno přímo v laboratoři.

Dovezená asfaltová pojiva byla z firmy Shell, jednalo se o gumoasfaltové pojivo Mexphalt RM+ (typ terminal blend) a vysoce modifikovaný asfalt OPA, který však nakonec nebyl v dále uváděných experimentech použit.

Asfaltové pojivo připravované v laboratoři bylo namícháno pomocí asfaltu OMV 50/70 a drcené gumy – pryžový granulát, souhrnný název tohoto pojiva je asfalt modifikovaný pryžovým granulátem nesprávně gumoasfalt RMB

#### 3.1.2.1. Výroba RMB: [2]

Výroba asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem, tedy RMB, probíhala metodou Continuous blend – pojivo se vyrábí v míchacím zařízení, při dávkování 15-25% pryžového granulátu při teplotě 170-185 °C<sup>[3]</sup>. Pro naše účely bylo vyrobeno pojivo RMB s obsahem 16% pryžového granulátu, které bylo mícháno při 170°C.

Na obalovnách se toto pojivo vyrábí ve speciálních zařízeních určených pouze na výrobu asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem:



Obrázek 5: Mísící zařízení Reimo pro míchání gumoasfaltu na obalovnách, Zdroj: Ondřej Dašek



Obrázek 6: Mísicí zařízení G-Asfalt pro míchání gumoasfaltu na obalovnách, Zdroj: Ondřej Dašek

## 3.2. Zkoušení vstupních materiálů:

### 3.2.1. Zkoušky kameniv:

Na kamenivech byla provedena jen zkouška Sítového rozboru dle: ČSN EN 993-1

#### 3.2.1.1. Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor: [3]

Podstata zkoušky:

Zkouška se skládá z roztržení a oddělení materiálu pomocí sady sít do několika frakcí se sestupnou velikostí otvorů. Otvory sít a počet sít jsou vybrány dle druhu vzorků a požadované přesnosti.

Postup zkoušky:

##### a) Praní:

Zkušební navážka se vloží do nádoby a přidá se dostatečné množství vody, aby kamenivo bylo zcela pod vodou. Vzorek se dostatečně promíchá, aby se dosáhlo dokonalé oddělení jemných částic.

Síto 0,063 mm, které se používá pouze pro tuto zkoušku, se navlhčí z obou stran a na toto síto se nasadí ochranné síto (např. 2 mm). Síta se umístí tak, aby roztok, který protéká zkušebním sítem, mohl odtékat do odpadu nebo, když je to považováno, byl zadržen ve vhodné nádobě.

Obsah nádoby se vylévá na horní síto. Praní pokračuje tak dlouho, až voda protékající sítem 0,063 mm je čirá.

Zůstatek na síte 0,063 mm se vysuší při  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti. Nechá se vychladnout. Zváží se a zaznamená hmotnost jako  $M_2$ .



Obrázek 7: Praní frakce kameniva

## b) Prosévání:

Vypraný a vysušený materiál (nebo přímo vysušený vzorek) se nasype na síta, která jsou sestavena do sloupce. Sloupec sestává ze sít spolu sestavených, přičemž síto nahoře má největší otvory a postupně dolů jsou síta s menšími otvory, na horním sítu je víko a pod dolním je dno.

Sloupec sít se ručně nebo mechanicky otřásá, pak se postupně odebírají jednotlivá síta. Nejdříve se odebere síto s největšími otvory a ručně se na jednotlivých sítích ještě dokončí prosévání, přičemž musí být zabráněno ztrátám materiálu, například použitím dna a víka.

Všechny materiál, který propadne sítím, se přidá na další síto ve sloupci před pokračováním prosévání na tomto sítě.

Aby se zabránilo přetížení sít, množství materiálu na každém sítě (v gramech) po ukončení prosévání nesmí být větší než:

$$\frac{Ax\sqrt{d}}{200}$$

A ...plocha síta ve čtverečných milimetrech

d....velikost otvoru síta v milimetrech

Jestliže některý ze zůstatků na sítě přesáhne tuto hodnotu, použije se jeden z následujících postupů:

zůstatek se rozdělí na díly menší než je stanovené maximum a odděleně se prosévá, část vzorku, který propadl nejbližší na vyšším sítě se zmenší děličem vzorků nebo kvartací a v prosévání se pokračuje na zmenšeném vzorku, přičemž se tato zmenšení musí vzít v úvahu při výpočtu.



Obrázek 8: Prosévání kameniva



## c) Vážení:

Zváží se zůstatek na síť s největšími otvory a zaznamená se jeho hmotnost jako  $R_1$ .

Stejná operace se provede se zůstatkem na dalším síť a zaznamená se jeho hmotnost jako  $R_2$ .

Pokračuje se stejným způsobem s dalšími síty ve sloupci k zjištění zůstatku na jednotlivých sítích a tyto se zaznamenají jako hmotnosti  $R_3, R_4, \dots, R_n$ .

Pokud propadly síty jemné částice na dno, zaznamená se jejich hmotnost jako  $P$ .

## d) Výpočet a vyjádření výsledků:

Všechny hmotnosti se zaznamenají ve zkušební protokol.

Vypočtou se hmotnosti zůstatků nakaždém síť jako procento hmotnosti původní vysušené navážky  $M_1$ .

Vypočtou se součtová procenta hmotnosti původní navážky, které propadly každým sítem od shora dolů kromě síta 0,063mm.

Vypočte se procento jemných částic ( $f$ ), které propadly sítem 0,063mm podle následujícího vztahu:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

Kde:  $M_1$  ... hmotnost vysušené zkušební navážky, v kilogramech,

$M_2$  ... hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063mm, v kilogramech,

$P$  ..... hmotnost propadu jemných částic na dně, v kilogramech

**Kamenivo 0-4:**

Dosažené výsledky:

U úvodního kameniva (frakce 0-4) jsou uvedeny všechny dosažené výsledky síťových rozborů, u dalších frakcí bude uvedena pouze výsledná hodnota, tedy jejich průměr. Neuvedené síťové rozborů budou uvedeny v příloze – kapitola 8.1.

Vzorek 1. - zrnitost kameniva frakce 0-4 z kamenolomu Luleč:

### Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

**1. Stanovení obsahu jemných částic****0-4 Vzorek č 1**

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):	493,6
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):	476,2
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,5
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ (%)	3,6

**2. Stanovení zrnitosti:**

Vel.ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	29,4	6	6	94
2	124,0	25	31	69
1	108,4	22	53	47
0,5	69,8	14	67	33
0,25	68,1	14	81	19
0,125	57,0	12	92	8
0,063	19,7	4,0	96,4	3,6
Dno sítový rozbor P	0,5	3,6	100,0	0,0
Dno jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	17,4			
Celkem	494,3			

Tabulka 1: zrnitost kameniva frakce 0-4 z kamenolomu Luleč – vzorek 1

Dosažené výsledky:

Vzorek 2. - zrnitost kameniva frakce 0-4 z kamenolomu Luleč:

Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor				
<b>1. Stanovení obsahu jemných částic</b>			<b>0-4 Vzorek č 2</b>	
Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):			566,3	
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):			545,0	
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):			0,2	
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ (%)			3,8	
<b>2. Stanovení zrnitosti:</b>				
Vel.ok síť	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	21,1	4	4	96
2	136,6	24	28	72
1	130,4	23	51	49
0,5	86,5	15	66	34
0,25	80,6	14	81	19
0,125	65,2	12	92	8
0,063	22,9	4,1	96,2	3,8
Dno	síťový rozbor P	3,8	100,0	0,0
Dno	jemné částice (M1 - M2)			
	21,3			
Celkem		564,8		

Tabulka 2: zrnitost kameniva frakce 0-4 z kamenolomu Luleč – vzorek 2

Dosažené výsledky:

Výsledná zrnitost kameniva frakce 0-4 z kamenolomu Luleč:

### Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

#### 1. Stanovení obsahu jemných částic

0-4 Průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):	530,0
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):	510,6
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,35
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	<b>3,7</b>

#### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	25,3	5	5	95
2	130,3	25	29	71
1	119,4	23	52	48
0,5	78,2	15	67	33
0,25	74,4	14	81	19
0,125	61,1	12	92	8
0,063	21,3	4	96	3,7
Dno	síťový rozbor P	0,4	3,7	100,0
Dno	jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	19,4		
Celkem	529,6			

Tabulka 3: zrnitost kameniva frakce 0-4 z kamenolomu Luleč – průměr



**Kamenivo 2-4:**

Dosažené výsledky:

Výsledná zrnitost kameniva frakce 2-4 z kamenolomu Luleč:

**Stanovení obsahu jemných částic**  
**Stanovení zrnitosti - síťový rozbor**
**1. Stanovení obsahu jemných částic****2-4 Průměr**

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):	528,7
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):	519,9
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,05
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	1,7

**2. Stanovení zrnitosti:**

Vel.ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	98,6	19	19	81
2	389,2	74	92	8
1	17,9	3	96	4
0,5	5,4	1	97	3
0,25	3,4	1	97	3
0,125	3,0	1	98	2
0,063	2,2	0	98	1,7
Dno síťový rozbor P	0,1	1,7	100,0	0,0
Dno jemné částice (M1 - M2)	8,8			
Celkem	528,3			

Tabulka 4: zrnitost kameniva frakce 2-4 z kamenolomu Luleč – průměr

Kamenivo 4-8:

Dosažené výsledky:

Výsledná zrnitost kameniva frakce 4-8 z kamenolomu Luleč:

### Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

#### 1. Stanovení obsahu jemných částic

4-8 Průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):	606,0
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):	589,3
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,25
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	<b>2,8</b>

#### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok síť	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	20,1	3	3	97
5,6	0,0	0	3	97
4	486,5	80	84	16
2	68,4	11	95	5
1	5,0	1	96	4
0,5	1,5	0	96	4
0,25	1,3	0	96	4
0,125	2,4	0	97	3
0,063	3,8	1	97	2,8
Dno	síťový rozbor P	0,3	2,8	100,0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	16,7		
Celkem		605,8		

Tabulka 5: zrnitost kameniva frakce 4-8 z kamenolomu Luleč – průměr

Filer:

Dosažené výsledky:

Výsledná zrnitost fileru z lokality Mokrá:

### Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

#### 1. Stanovení obsahu jemných částic

FILER Průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):	261,7
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):	73,8
Hmotnost propadu jemných částic na dně ( $P$ ):	2,65
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100\%$	72,82

#### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	0,0	0	0	100
2	0,0	0	0	100
1	0,0	0	0	100
0,5	0,0	0	0	100
0,25	1,2	0	0	100
0,125	24,3	9	10	90
0,063	45,1	17	27	73
Dno síťový rozbor P	2,7	73,0	100,0	0,0
Dno jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	188,0			
Celkem	261,1			

Tabulka 6: zrnitost fileru z lokality Mokrá – průměr

### 3.2.2. Zkoušení pojiv:

Na pojivech byly provedeny následující zkoušky:

Stanovení penetrace jehlou	ČSN EN 1426
Bod měknutí – kroužek kulička	ČSN EN 1427

Nad rámec diplomové práce byla na pojivu modifikovaným pryžovým granulátem RMB provedena ještě zkouška – Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním viskozimetrem

ČSN EN 13302

#### 3.2.2.1. Stanovení penetrace jehlou: <sup>[4]</sup>

Zkouška stanovení penetrace jehlou spočívá v tom, že se ocelová jehla přesně definovaných parametrů v ČSN EN 1426 článku 5.2 zatlačuje do asfaltového vrozku. Celá zkouška proběhne ve vodní lázni při teplotě 25°C, jehla o hmotnosti 100g se zatlačuje do vzorku po dobu 5s.



Obrázek 9: Penetrační jehla, Zdroj: Dip. Prác. Pavel Coufalík

Zkouška penetrace jehlou musí probíhat za stálých podmínek tzn. teplota vody musí být 25°C +/- 0,15°C Příprava vzorků: vzorky se odlijí do připravené nádoby, která je očištěna od nečistot a nechají se schladit na laboratorní teplotu. Poté se vzorky umístí do připravené vodní lázně s cirkulací vody a nechají se temperovat po dobu nejméně 2 hodin



Obrázek 10: připravené penetrační misky

**Postup Zkoušky:**

Do této lázně se vloží zkušební nádoba se vzorkem a umístí se na požadovanou pozici. Následně se postupně snižuje jehla až na povrch vzorku a lze zahájit měření. Dobu zatěžování jehly se nastaví na 5 s a spustí se přístroj.

Na stupnici lze sledovat hloubku vpichu jehly, tedy penetraci, která se zapíše do protokolu. Rozdíl oproti postupu v normě ČSN EN 1426 je popsán v TP 148. Penetrace se měří na hladkých a lesklých místech.

Postupně se provedou čtyři měření a do výpočtu průměru se neuvažuje nejnižší hodnota.

**Vyjádření výsledků:**

V normě je uvedeno, že jednotlivé výsledky stejného vzorku, se od sebe nesmí lišit o více jak číslo v tabulce:

Penetrace v 0,1 mm	Do 49	50 až 149	150 až 249	250 a výše
Maximální rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším stanovením	2	4	6	8

Tabulka 7: Maximální hodnota odlišnosti výsledků penetrace jehlou, Zdroj: ČSN EN 1426



Obrázek 11: Probíhající zkouška penetrace na přístroji v laboratoři

#### 3.2.2.1.1. Dosažené výsledky na pojivech:

V této části si shrneme všechny dosažené výsledky na všech používaných pojivech. Jako první pojivo bylo testováno pojivo RM+ od firmy Shell:

RM+	penetrace	
	jedn. výsl.	průměr
1	42	<b>41</b>
2	40	
3	41	

Tabulka 8: Výsledná penetrace pojiva RM+

Jak ze z tabulky 8 patrné hodnoty vyhoví na stanovené limity tabulky č. 7.

Druhé pojivo bylo testováno OPA – vysoce modifikovaný asfalt od firmy Shell:

<b>OPA</b>	penetrace	
	měření	průměr
1	85	<b>84</b>
2	83	
3	83	

Tabulka 9: Výsledná penetrace pojiva OPA

Zde jsou také hodnoty v odchylkách vyhovujícím tabulce 7.

U třetího pojiva RMB byly provedeny dvě zkoušky penetrace, a to na ropném asfaltu OMV 50/70 a poté, po přidání pryžového granulátu, na vyhotoveném asfaltovém pojivu modifikovaným pryžovým granulátem RMB.

Výsledky penetrace u vstupního pojiva OMV 50/70:

<b>OMV 50/70</b>	penetrace	
	měření	průměr
1	57	<b>65</b>
2	67	
3	65	
4	64	

Tabulka 10: Výsledná penetrace pojiva OMV 50/70

U vstupního pojiva OMV 50/70 je zřejmé, že zde proběhla chyba měření při které nebyla dostatečně očištěna penetrační jehla. Toto měření je tedy bráno jako neplatné a byly následně změřeny nové tři penetrace, které již proběhly v pořádku a jsou v souladu s tabulkou 7.

Výsledky namíchaného pojiva v laboratoři - RMB:

<b>RMB</b>	penetrace	
	měření	průměr
1	23	<b>25</b>
2	28	
3	24	

Tabulka 11: Výsledná penetrace pojiva RMB

U vyhotoveného pojiva jsou výsledky diskutabilní. Již při první penetraci vyšla velmi malá hodnota penetrace a to 23 penetračních jednotek. Další výsledky potvrdily toto měření a vyvrátily možnou chybu. U tohoto pojiva nelze s požadovanou přesností určit přesnou hodnotu penetrace, i když je zde otázka zda vůbec má být na tomto pojivu udělána zkouška penetrace, z důvodu přítomnosti pryžového granulátu a tedy znehodnocení možných měření při dotyku jehly zrna pryžového granulátu. V tomto případě se začíná zvětšovat plocha zatlačované jehly, tudíž dochází ke znehodnocení výsledků zkoušky a dosažení výsledku nižšího než očekávaného.

#### 3.2.2.2. Bod měknutí – Kroužek Kulička: [5]

Metoda pro stanovení bodu měknutí – KK patří mezi základní zkoušky asfaltového pojiva. Tato metoda je popsána v normě ČSN EN 1427.

Podstatou této zkoušky je změřit teplotu, při které propadne kulička kroužkem.

Kroužek je vyplněn asfaltovým pojivem až do požadované výšky, do kterého se umístí kuličky předepsaných rozměrů a vah. Celá soustava ve vodní lázni se pak zahřívá do té doby, dokud nepropadne kroužek kuličkou. Propad kroužku kuličkou se zaznamená na přístroji a vyhodnotí se.

Příprava na zkoušku:

Na počátku zkoušky je nutné si všechny části zkoušky důkladně očistit od zbývajících nečistot z minulého měření, poté se připraví samotné kroužky.

Kroužky se rozmístí na podložku, která je opatřena separačním postříkem aby se vzorek nepřilepil k podložce. Po umístění kroužků nastává odlití pojiva, pojivo se nahřeje dle normy na 90°C. Po nalití se kroužky seříznou na požadovanou výšku např. pomocí nahřáté špachtle s ostrým koncem.

Poté se vzorky dají do destilované vody a umístí se do chladicího zařízení, aby počáteční teplota vzorku před zkoušením byla 5°C

Destilovaná voda se nalije (50±3) mm nad horní okraj kroužku.



#### Postup zkoušky:

Na kroužky se umístí kuličky do přesné polohy, poté se celá kádinka umístí do přístroje a pustí se přístroj.

Průběh zkoušky probíhá tak, že se postupně zahřívá kádinka rychlostí 5 °C/min. zkouška probíhá tak dlouho, dokud nepropadne kulička kroužkem. Po propadnutí se zaznamená propad kuličky pomocí světelného paprsku a přístroj si tuto hodnotu zapíše.

Výsledná hodnota obou kroužků se nesmí lišit o více jak 1 °C, u modifikovaných asfaltů 2 °C. Pokud by výsledná teplota byla vyšší jak 80 °C, musela by se zkouška provést v glycerinu. V případě propadnutí kuličky, která není obalena pojivem, se tato zkouška uvažuje jako neplatná.

Výsledek z této zkoušky se stanoví jako průměr z obou naměřených hodnot s přesností na 0,2 °C. Při zkoušce v glycerinu, tedy nad 80 °C, se tato teplota zaokrouhlí s přesností na 0,5 °C.

Dosažené výsledky na pojivech:

V této části si shrneme výsledky dosažené na pojivech: RM+, OPA, RMB

#### Výsledky pro RM+:

Průměrná teplota bodu měknutí pro pojivo RM+ vyšla **75,6 °C**

#### Výsledky pro OPA:

Průměrná teplota bodu měknutí pro pojivo RM+ vyšla **71,5 °C**

#### Výsledky pro RMB:

U výsledku toho pojiva si musíme říci, stejně jako u penetrace, ve dvou krocích. První krok byl udělat zkoušku na vstupním pojivu OMV 50/70 a poté udělat zkoušku pro celé namíchané pojivo s pryžovým granulátem.

#### Pojivo OMV 50/70 :

Průměrná teplota bodu měknutí pro pojivo OMV50/70 vyšla **47,9 °C**

#### Namíchané pojivo RMB:

Průměrná teplota bodu měknutí pro pojivo RMB vyšla **71,1 °C**

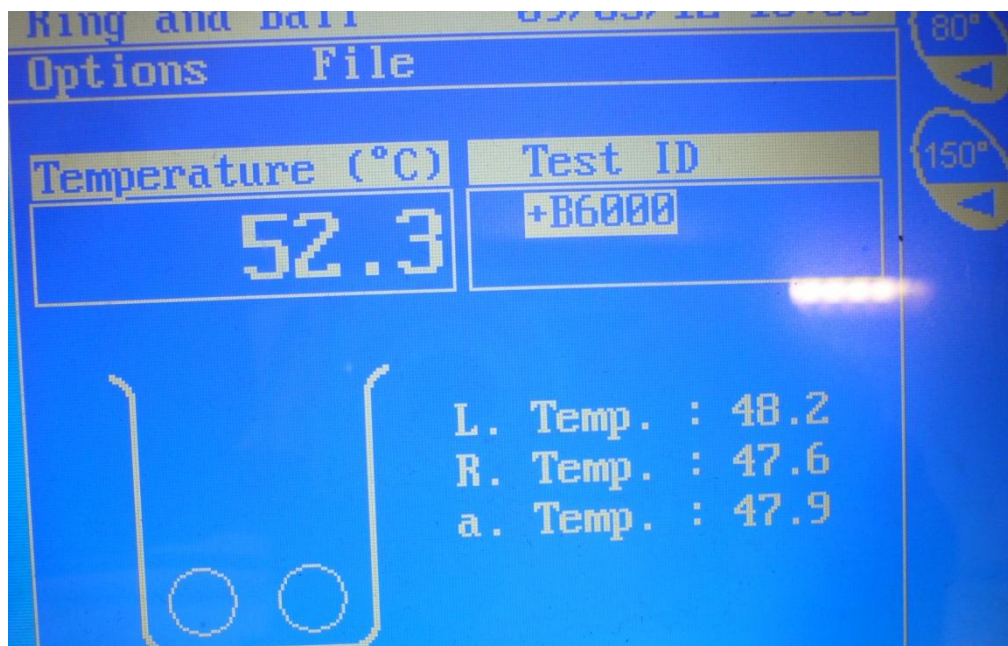
Nutno dodat že tato zkouška u pojiva RMB se nepodařila provést napoprvé z důvodu dvojnásobného protržení stěn pojiva a vytečení kuličky. Celkově se tato zkouška povedla až na potřetí s výše uvedeným výsledkem.

Fotodokumentace ze zkoušky bod měknutí – kroužek kulička:



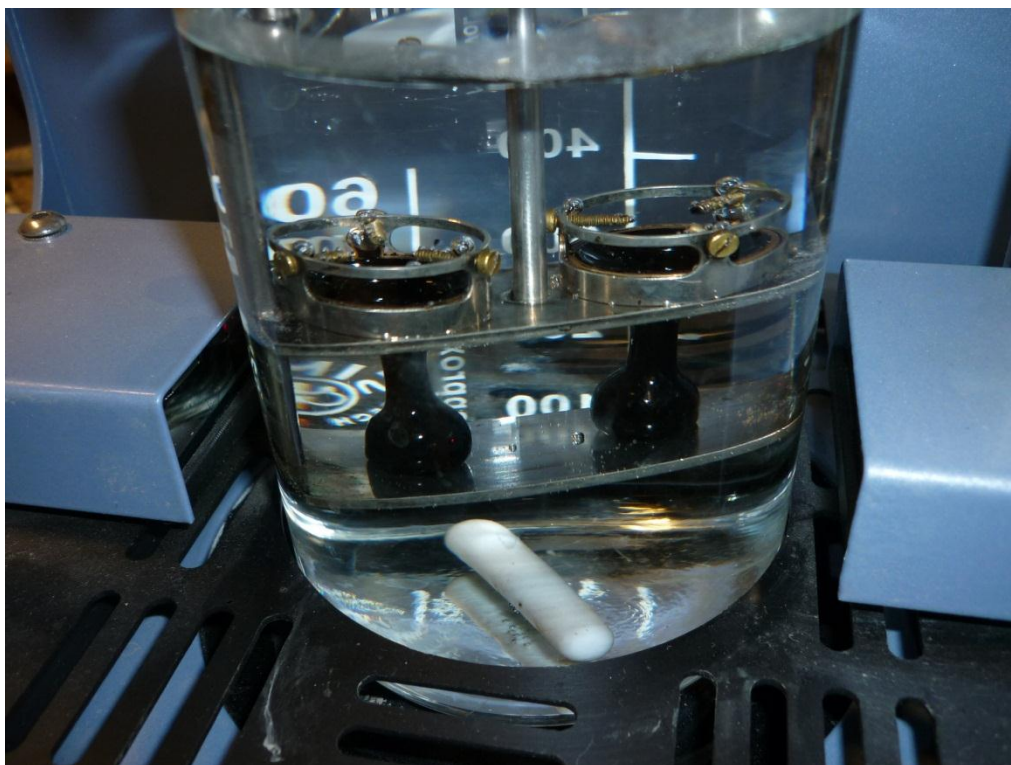
Obrázek 12: Nalité kroužky z pojiva OMV 50/70 a RM+

I z obrázků je patrné o kolik jednodušeji se odlévalo pojivo OMV 50/70, než poté pojivo RM+. U pojiva RM+ je jasně vidět přítomnost chemických látek z map na povrchu odlitého vzorku.



Obrázek 13: Výsledek zkoušky na pojivu OMV 50/70

Výsledná hodnota u pojiva OMV 50/70 je v mezích normy +/- 1 °C



Obrázek 14: Výsledná fotka při protažení pojiva OMV 50/70



Obrázek 15: Výsledné protažení vzorků z pojiva OP

### 3.2.2.3. Stanovení dynamické viskozity: <sup>[6]</sup>

Tato zkouška je uvedena v normě ČSN EN 13302 s názvem Asfalty a asfaltová pojiva – stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem. Dle této normy zjistíme dynamickou viskozitu, všech druhů pojiv jak u nemodifikovaných i modifikovaných asfaltů. V této normě je i předepsána teplota, při které by se tato zkouška měla provádět, ale může být nahrazena i jinou teplotou.

Viskozita je míra odporu tekutiny proti rotujícímu tělesu, které je v tekutině. Čím vyšší odpor tím vyšší viskozita.

Příprava na zkoušku:

Pro přípravu vzorku je nutné mít přichystané pojivo v plechové kádince nebo přímo v plechovce. Plechovka se umístí do pece s možností regulace teploty a zahřívá se buď na stanovenou teplotu normou, nebo na domluvenou teplotu. Dále je potřeba rotační vřetenový viskozimetr.



Obrázek 16: rotační vřetenový viskozimetr s nádobkou a rotačním vřetenem, Zdroj: diplomová práce Pavel Coufalík



**Postup měření:**

Do připravené nádoby se nalije pojivo a vloží se do pece na teplotu 175 °C, která se hlídá pomocí teploměru. Vzhledem k tomu že jsem si nepoznamenal dobu zahřívání tak vzorek nemůžu plně srovnat s diplomovou prací Pavla Coufalíka, který tyto hodnoty má uvedené přesně. Po nahřátí na požadovanou teplotu se připraví viskozimetr s vřetenem. Před samotnou zkouškou je důležité vzorek s pojivem promíchat aby nedošlo k usazení modifikačních přísad. Ihned po promíchání nastává samotné měření. Vřeteno se pomalu ponoří až po rysku do asfaltového pojiva. Po vložení se přečte hodnota na displeji a zaznamená se. Měření by nemělo trvat déle než 100s. Přesnost měření je +/- 10%.

**Vyhodnocení zkoušky:**

Viskozita by v tomto případě měla vycházet od hodnoty 1,5 až 4,0 Pa/s<sup>-1</sup> pro gumoasfalt.

Výsledek zkoušky pomocí rotačního viskozimetru pro pojivo modifikované pryžovým granulátem RMB je tedy **3,5 Pa/s<sup>-1</sup>**.

Jak je již výše zmíněno, tato zkouška byla provedena pouze na pojivu RMB.



Obrázek 17: Měření viskozity gumoasfaltu pomocí rotačního viskozimetru, Zdroj: Ondřej Dašek

## 4. Asfaltové směsi:

### 4.1. Používané materiály:

U návrhu asfaltových směsí je třeba si říci, jaké materiály byly použity, protože z různých důvodů nebyly použity všechny výše uvedené.

Do návrhů asfaltových směsí se použila asfaltová pojiva s pryžovým granulátem a to jak RM+ , tak i RMB. Pojivo OPA, neboli vysoce modifikovaný asfalt, nebylo použito, protože řešitelský tým revitalizace cementobetonových krytů uvažoval pouze s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem a této podmínce vyhovují v mé diplomové práci pouze pojiva RM+ a RMB. Dále se tedy uvažovala jako vhodná pojiva pro tvorbu vrstvy SAL pouze pojiva s pryžovým granulátem RM+ od firmy Shell a RMB připravovaného v laboratoři metodou Continuous blend.

Jak již bylo zmíněno, bylo tedy pracováno pouze se dvěma pojivy RM+ a RMB. Při návrhu směsí SAL s max. zrnem do 4 mm byla použita obě tato pojiva. Navržené směsi byly označeny jako směs RM+ a RMB zavřená s ohledem na požadovaný rozsah mezerovitosti 2-3%.

Vzhledem k tomu, že pojivo RM+ nebylo možné dodat v takovém množství, aby mohl být proveden pokusný úsek, bylo v dalších návrzích použito pouze pojivo RMB t.j. pro návrh směsí SAL s max. zrnem do 8 mm, která je nazývána jako otevřená s ohledem na požadovanou mezerovitost v rozsahu 4-5 %.

### 4.2. Návrh asfaltových směsí:

Návrhy asfaltových směsí vycházely z předchozí diplomové práce Pavla Coufalíka. Snahou bylo najít takové zrnitostní a pojivové složení, aby výsledné směsi vyhovovaly zvoleným mezerovitostem a aby směsi s přibližně stejnou čarou zrnitosti bylo možné vzájemně porovnat na základě funkčních zkoušek a vyhodnotit s ohledem na druh použitého pojiva.

Při návrhu jsme tedy uvažovali dva druhy směsí a to jsou směsi – zavřená a otevřená. Pro zavřenou směs bylo uvažováno s mezerovitostí 2-3% a u otevřené směsi 4- 5%.

### 4.2.1. Navržené směsi:

Důležitá informace před samotným návrhem asfaltové směsi je, že jsme neuvažovali s mezemi uvedenými v TP147 pro zrnitostní složení vrstvy SAL. Úmyslně jsme tedy vybočili z těchto mezí a snažili jsme se hledat optimálnější alternativu. Množství jednotlivých složek asfaltové směsi jsou uvedeny v příloze – kapitola 8.2.

#### 4.2.1.1. Zavřené směsi:

U zavřených směsí jsme počítali s obsahem pojiva u RM+ 9-11% a u RMB taktéž 9-11%.

U směsi s pojivem RM+ bylo provedeno 5 návrhů a u pojiva RMB z důvodu předchozích zkušeností z RM+ již pouze 2 návrhy.

Pro návrhy směsí z pojiva RM+ jsme našli jako optimální řešení návrh číslo 5 a u pojiva RMB byl použit první návrh, který byl ještě po úpravě a ne zcela optimálním výsledku návrhu číslo 2 vyhodnocen jako finální návrh pro toto pojivo.

#### 4.2.1.1.1. Směsi s pojivem RM+

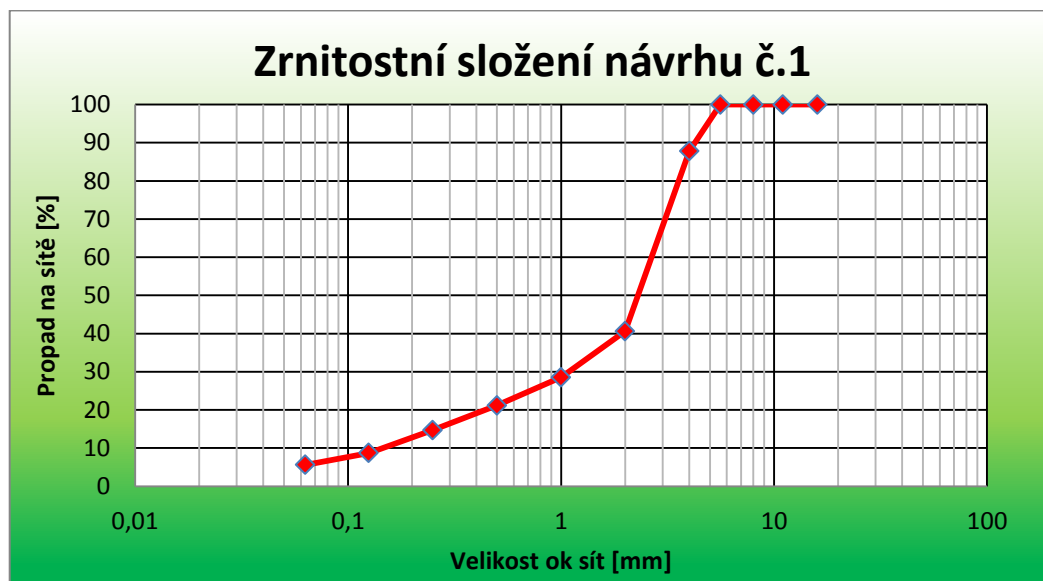
Na následujících tabulkách a grafech si ukážeme jednotlivé návrhy:

#### Návrh č. 1:

Dávkování	Frakce	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
0	11-22											
0	8-16											
0	8-11											
49,5	2-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0	7,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,6
46	0-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	95,0	71,0	48,0	33,0	19,0	8,0	3,7
4,5	Moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	69,0
<b>Celkem</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>88</b>	<b>41</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>5,6</b>

Tabulka 12: První návrh asfaltové směsi s pojivem RM+

Grafické znázornění návrhu č. 1:



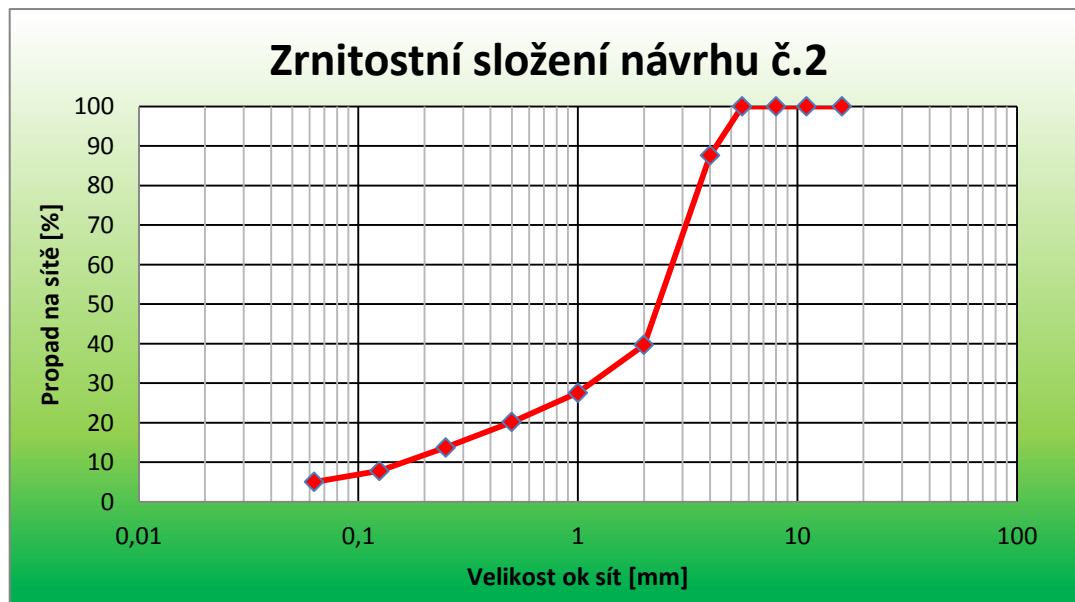
Graf 7: Zrnitostní složení návrhu č. 1.

### Návrh č. 2:

Dávkování	Frakce	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
0	11-22											
0	8-16											
0	8-11											
50,5	2-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0	7,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,6
46	0-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	95,0	71,0	48,0	33,0	19,0	8,0	3,7
3,5	Moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	72,8
<b>Celkem</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>88</b>	<b>40</b>	<b>28</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>5,1</b>

Tabulka 13: Druhý návrh asfaltové směsi s pojivem RM+

Grafické znázornění návrhu č. 2:



Graf 8: Zrnitostní složení návrhu č. 2.

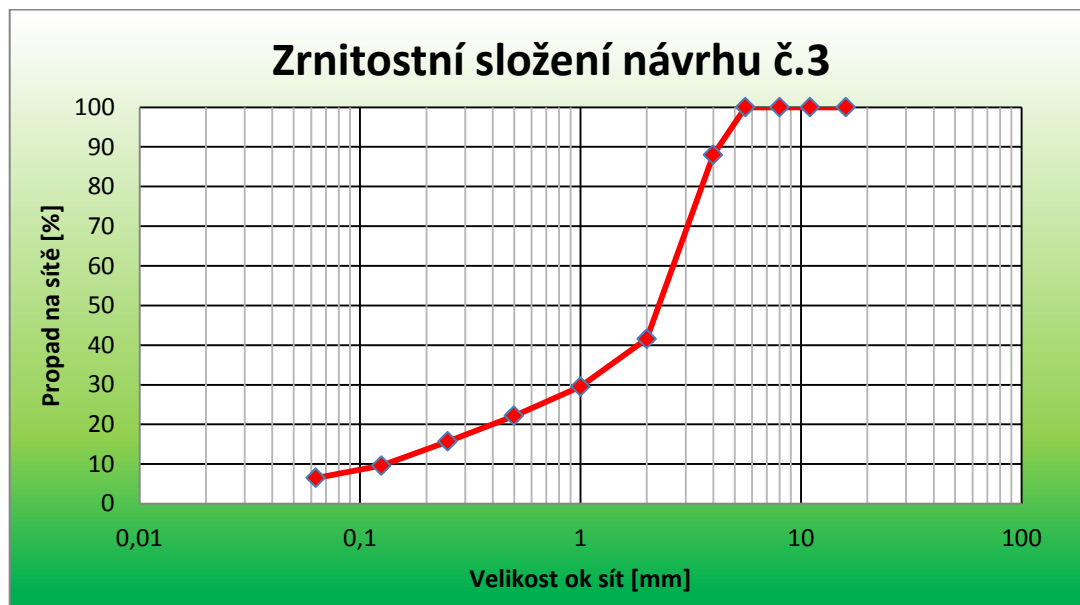


**Návrh č. 3:**

Dávkování	Frakce	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
0	11-22											
0	8-16											
0	8-11											
48,5	2-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0	7,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,6
46	0-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	95,0	71,0	48,0	33,0	19,0	8,0	3,7
5,5	Moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	72,8
<b>Celkem</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>88</b>	<b>42</b>	<b>30</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>6,5</b>

Tabulka 14: Třetí návrh asfaltové směsi s pojivem RM+

Grafické znázornění návrhu č. 3:



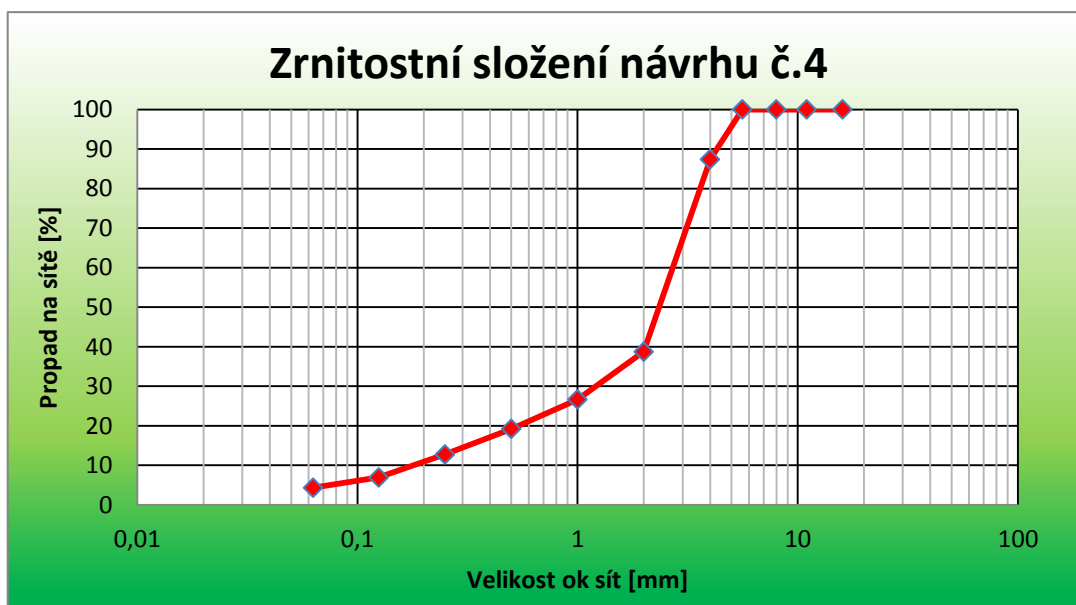
Graf 8: Zrnitostní složení návrhu č. 3.

**Návrh č. 4:**

Dávkování	Frakce	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
0	11-22											
0	8-16											
0	8-11											
51,5	2-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0	7,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,6
46	0-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	95,0	71,0	48,0	33,0	19,0	8,0	3,7
2,5	Moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	72,8
<b>Celkem</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>87</b>	<b>39</b>	<b>27</b>	<b>19</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>4,3</b>

Tabulka 15: Čtvrtý návrh asfaltové směsi s pojivem RM+

Grafické znázornění návrhu č. 4:



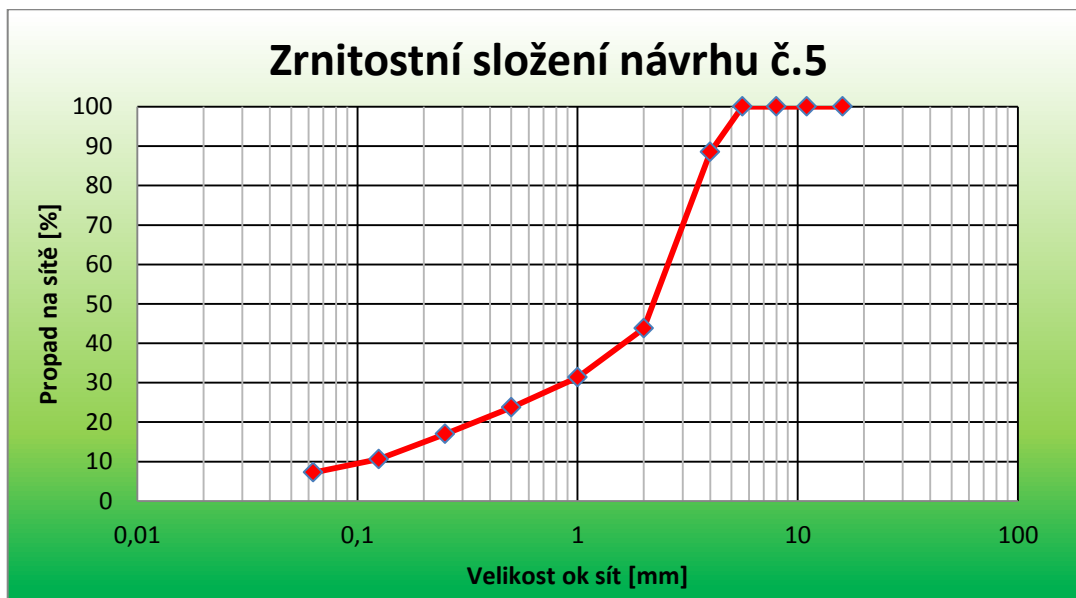
Graf 9: Zrnitostní složení návrhu č. 4.

#### Návrh č. 5:

Dávkování	Frakce	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
0	11-22											
0	8-16											
0	8-11											
45,5	2-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0	7,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,6
48	0-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	95,0	71,0	48,0	33,0	19,0	8,0	3,7
6,5	Moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	72,8
<b>Celkem</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>89</b>	<b>44</b>	<b>31</b>	<b>24</b>	<b>17</b>	<b>11</b>	<b>7,2</b>

Tabulka 15: Pátý návrh asfaltové směsi s pojivem RM+

Grafické znázornění návrhu č. 5:



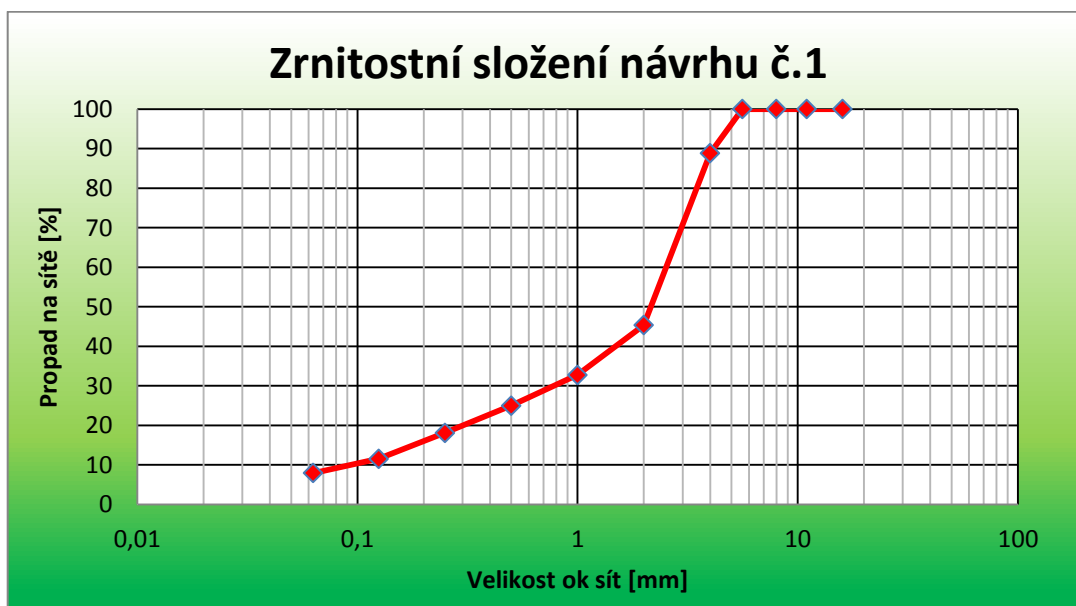
Graf 10: Zrnitostní složení návrhu č. 5.

4.2.1.1.2. Směsi s pojivem RMB**Návrh č. 1:**

Dávkování	Frakce	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
0	11-22											
0	8-16											
0	8-11											
43,5	2-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0	7,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,6
49	0-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	95,0	71,0	48,0	33,0	19,0	8,0	3,7
7,5	Moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	72,8
<b>Celkem</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>89</b>	<b>45</b>	<b>33</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>8,0</b>

Tabulka 16: První návrh asfaltové směsi s pojivem RMB

Grafické znázornění návrhu č. 1:



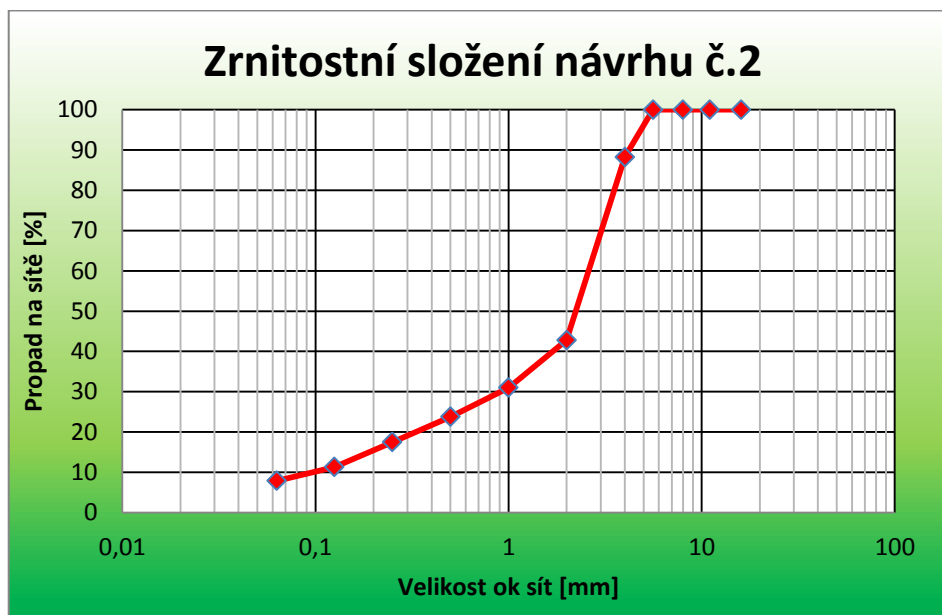
Graf 11: Zrnitostní složení návrhu č. 1.

**Návrh č. 2:**

Dávkování	Frakce	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
0	11-22											
0	8-16											
0	8-11											
47,5	2-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0	7,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,6
45	0-4 Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	95,0	71,0	48,0	33,0	19,0	8,0	3,7
7,5	Moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	72,8
<b>Celkem</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>88</b>	<b>43</b>	<b>31</b>	<b>24</b>	<b>17</b>	<b>11</b>	<b>7,9</b>

Tabulka 17: Druhý návrh asfaltové směsi s pojivem RMB

Grafické znázornění návrhu č. 2:



Graf 12: Zrnitostní složení návrhu č. 2.

#### 4.2.1.2. Otevřené směsi:

Otevřené směsi, které byly v diskuzích s řešitelským týmem CBK nejvíce diskutovány, byly, jak již název napovídá, s nižším obsahem asfaltového pojiva a s vyšším podílem hrubozrnějších frakcí kameniva. Do otevřené směsi jsme přidali frakci 4-8.

Na otevřené směsi bylo již používáno pouze pojivo RMB a nebylo tedy již používáno pojivo RM+, které nebylo možné dodat v potřebném množství na zkušební úsek. Pro zhotovení otevřených směsí byl obsah pojiva RMB 9% a pohybovalo se tedy jen s čarou zrnitosti.

Pro otevřenou směs byly vyhotoveny 3 směsi, z nichž jako reprezentativní bereme směs číslo 2, která nejvíce vyhovovala výše uvedeným předpokladům.

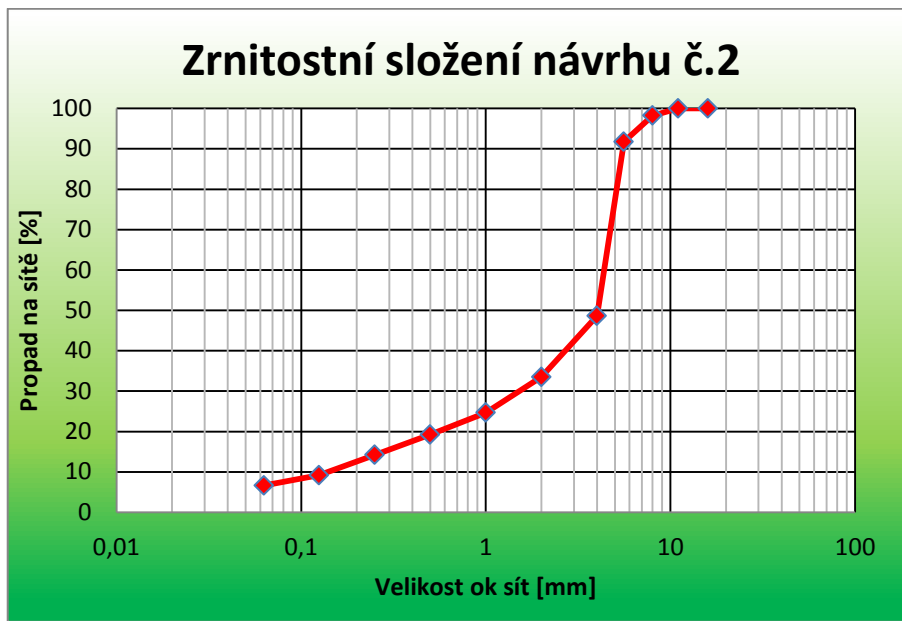
Zde bude ukázán jen finální návrh, tedy návrh číslo 2, zbylé návrhy budou uvedeny v příloze.

**Návrh č. 2:**

Dávkování	Frakce	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
0	11-22											
0	8-16											
0	8-11											
59	4-8 Luleč	100	100	97	86	16	5	4	4	4	3	2,8
36	0-4 Luleč	100	100	100	100	95	71	48	33	19	8	3,7
5	Moučka	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	72,8
<b>Celkem</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>92</b>	<b>49</b>	<b>34</b>	<b>25</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>6,6</b>

Tabulka 18: Pátý návrh asfaltové směsi s pojivem RMB

Grafické znázornění návrhu č. 2:



Graf 13: Zrnitostní složení návrhu č. 2.

**4.3. Výroba asfaltových směsí: [7]**

Výroba asfaltových směsí vyráběných v laboratoři je popsána v evropské normě ČSN EN 12697-35, pod názvem Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsí.

V normě je uvedeno ruční i mechanické míchání asfaltové směsi pro výrobu zkušebních těles. V normě je i uvedeno při jaké teplotě se má směs míchat.

**4.3.1. Příprava zařízení:**

K dokonalému promísení je nutné mít laboratorní míchačku, která za dobu nejdéle 5 minut promíchá celou navážku tak, aby byla všechna zrna obalena. Míchačka by měla být vybavena termostatickým ohřevem a mechanickým ovládáním rychlosti.



Obrázek 17: Laboratorní míchačka, Zdroj: Diplomová práce Pavel Coufalík

### 4.3.2. Postup při výrobě směsí:

Při výrobě asfaltových směsí si nejprve musíme připravit kamenivo, filer a pojivo. Při přípravě kameniva a fileru musíme nejdříve kamenivo vysušit do ustálené hmotnosti a to zajistíme pomocí sušárny, která je nastavena na teplotu  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Po vysušení kameniva a fileru je musíme nechat zchladit na laboratorní teplotu.

Poté se naváží přesná dávka kameniva a fileru a dají se společně s asfaltovým pojivem do sušárny na teplotu  $(170 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Pojivo se nahřívá v uzavřených plechovkách, aby se co nejvíce zabránilo degradaci pojiva. Pojivo se míchá i během zahřívání, aby se zajistilo dokonalému rozložení teploty a pryžového granulátu.

Míchání směsí probíhá tak, že se nejprve do přehřáté mísící nádoby nasype směs kameniva a fileru, poté se přesně nadávkuje množství pojiva. Směs se míchá do té doby, dokud nejsou obalena všechna zrna pojiva.



Obrázek 18: Příklad plechovky s gumoasfaltem RM+

### 4.3.3. Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem: [8]

Příprava zkušebních těles je popsána v ČSN EN 12697-30 s názvem: asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Uváděná norma popisuje výrobu těles (nazývány i Marshallova tělesa) za pomoci rázového zhutňovače.

#### 4.3.3.1. Příprava směsi a zařízení:

Směs se po namíchání rozprostře na desku, vysypaná směs se promísí, aby nevznikaly rozdíly ve směsi, poté se směs rozdělí do ocelových forem podle stanovené hmotnosti. V mé diplomové práci byla tato váha jednoho vzorku 1200g. Po navážení se ocelová forma umístí do sušárny. Směs se nahřívá na stanovenou teplotu  $(160 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Připravíme si ocelové formy o průměru  $(101,6 \pm 0,1)$  mm a očistíme je od nečistot. Ocelové formy se skládají z podložky válcové formy a nástavce ve tvaru násypky.

#### 4.3.3.2. Postup zkoušky:

Před samotným hutněním musíme předehtřát ocelovou formu se směsí na teplotu  $(160 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Po nabytí této teploty se připraví ocelové formy a poskládají se ve správném pořadí. Ihned po vyndání směsi se začne směs vysypávat do připravené formy. Poté se umístí válcová forma do zhutňovače, zajistí se a může probíhat samotné hutnění.

Hutnění probíhalo  $2 \times 50$  úderů, to znamená, že se těleso zhutnilo  $50 \times$  z jedné strany poté se otočilo a zhutnilo se  $50 \times$  z druhé strany. Po ukončení hutnění se těleso nechalo zchladit na přijatelnou teplotu a vytlačilo se pomocí hydraulického lisu a popsalo.

#### 4.3.3.3. Vyhodnocení Zkoušky:

Vyhotovené tělesa musí vyhovovat předepsaným rozměrům. Průměr  $(101,6 \pm 0,1)$  mm a výšku  $(63,5 \pm 2,5)$  mm.



Obrázek 19: Rázový zhutňovač, Zdroj Pavel Coufalík



#### 4.3.4. Příprava zkušebních desek: <sup>[9]</sup>

Před samotnými zkouškami jednotlivých směsí, je nutné si říci, jakým způsobem se vyráběly samotné zkušební tělesa – zkušební desky.

Postup při výrobě desek je popsán v normě ČSN EN 12697-33+A1 (Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek). Hutnění probíhalo v ocelové formě o daných rozměrech, která byla zatížena pojížděním válcem, který působil na soustavu lamel, a ty přes plech roznášely dále zatížení na asfaltovou směs. Válec pojížděl konstantní rychlostí. Výsledky zhutněných desek jsou uvedeny v příloze – kapitola 8.3.



Obrázek 20: Zhutňovač desek

#### **4.3.4.1. Příprava směsi a hutnického zařízení:**

Příprava směsi probíhá stejným způsobem, jako je popsáno v kapitole 4.3.2. Množství směsi se stanoví výpočtem objemu z rozměrů desky, která samozřejmě vychází z rozměrů formy: šířka=260mm, délka=320mm. V mém případě byly vyráběny desky o tloušťkách: 3cm na trvalé deformace, 4cm na relaxace asfaltových směsí a 5cm na stanovení nízkoteplotních vlastností a na stanovení šíření trhlin na půlválcovém tělese. Nastavení výšky ve zhutňovači lze nastavit pomocí distančních ocelových podložek s přesností na 1cm.

Hutnická směs se předehřeje na požadovanou teplotu hutnění 160°C uloženou v ocelových pleších v sušárně.

Hutnické zařízení se musí tedy před samotným hutněním nastavit na požadovanou tloušťku desky a celá forma se postupně sešroubuje. Hutnická forma se vymaže separačním nátěrem.

#### **4.3.4.2. Postup hutnění:**

Do připravené formy se vysype nahřátá směs a pomocí špachtle se vyškrábe z plechu, aby nenastaly ztráty v objemu směsi. Směs poté musíme rozprostít pomocí špachtle rovnoměrně do formy.

Po uložení směsi vložíme na rozprostřenou směs ocelový plech a začneme postupně klást lamely. Po uložení lamel musíme celé zařízení pořádně dotáhnout, aby nedošlo ke změně rozměrů desky během hutnění.

Nakonec pomocí ruční hydraulické páky najedeme kolem těsně nad lamely a spustíme přístroj.

Po hutnění se válec odstaví do původní polohy a celá forma i se směsí se nechá minimálně 30 minut vychladit. Na závěr se forma rozšroubuje a vyndá se zhutněná deska.

### **4.3.5. Stanovení maximální objemové hmotnosti:<sup>[10]</sup>**

Tato problematika je popsána v normě ČSN EN 12697-5: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti.

#### **4.3.5.1. Podstata zkoušky:**

Maximální objemová hmotnost se společně s objemovou hmotností používá k výpočtu obsahu mezer ve zhutněném vzorku a dalších charakteristik zhutněné asfaltové směsi, které se vztahují k jejímu objemu.

U volumetrického postupu se maximální objemová hmotnost asfaltových směsí stanoví z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti.

U tohoto postupu se objem vzorku měří jako objem vody nebo rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru.

#### 4.3.5.2. Příprava a Postup zkoušky:

Jak je patrné z podstaty zkoušky použil jsem volumetrickou metodu. S ohledem na vlastnosti směsi jsme zvolili stanovení maximální objemové hmotnosti pomocí rozpouštědla trichloretylenu a bylo tak možné rozpustit shluky směsi.

Na začátku zkoušky se stanoví hmotnost prázdného pyknometru ( $m_1$ ) a objem pyknometru ( $V_p$ ) včetně nástavce. Uloží se asfaltová směs do pyknometru a nechá se schladit na laboratorní teplotu a změříme hmotnost ( $m_2$ ). Po zvážení se naplní minimálně 30 mm pod okraj nádoby rozpouštědlem. Následně se pyknometry buď pořádně protřepou v ruce, nebo se umístí na točící se zařízení, aby se rozpouštědlo shluky. Dolije se pyknometr těsně pod okraj spodní nádoby a nechá se temperovat při teplotě  $(25 \pm 0,2)^\circ\text{C}$  po dobu nejméně 60 minut. Po uplynutí této doby se pyknometr doplní rozpouštědlem až po značku, vyndá se z vodní lázně, perfektně se osuší a zváží se hmotnost ( $m_3$ ).

#### 4.3.5.3. Postup výpočtu:

Maximální objemová hmotnost se vypočte podle vztahu:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{100 \cdot \left( V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w} \right)}$$

kde  $\rho_{mv}$  je maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v  $\text{kg/m}^3$  s přesností 0,1  $\text{kg/m}^3$

$m_1$  .. hmotnost pyknometru a nástavce, v g.

$m_2$  .. hmotnost pyknometru, nástavce a zkušební vzorku, v g.

$m_3$  .. hmotnost pyknometru, nástavce, zkušební vzorku a vody, v g

Veškeré hmotnosti musí být stanoveny v g s přesností 0,1g. Objem pyknometru musí být stanoven v  $\text{m}^3$  s přesností  $0,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ . Veškerá procenta musí být vyjádřena s přesností 0,1 %.

#### 4.3.6. Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa: [11]

Předpis, který popisuje tuto zkoušku je evropská norma ČSN EN 12697-6, dle které se zjišťuje objemová hmotnost.

V normě jsou uvedeny 4 postupy:

- a) objemová hmotnost – suchá (tělesa s velmi uzavřeným povrchem);
- b) objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem);
- c) objemová hmotnost – utěsněné zkušební těleso (tělesa s otevřeným nebo hrubozrnným povrchem)
- d) objemová hmotnost dle rozměrů.

V mé diplomové práci byl používán postup „b“ nasycený suchý povrch – tělesa s uzavřeným povrchem. Objemová hmotnost tělesa se určí jako podíl váhy a objemu tělesa. U tohoto postupu můžeme objem tělesa určit z jeho hmotnosti ve vodě a na suchu.

##### 4.3.6.1. Příprava zařízení a zkušebních těles:

Důležité na tuto zkoušku je mít připravenou váhu s přesností na 0,1g, která může vážit těleso na vzduchu i ve vodě. Pro stanovení hmotnosti tělesa ve vodě musí být připravena vodní lázeň o konstantní teplotě a teploměr s přesností +/- 1°C.

Postup výroby vzorků je popsán v kapitole 4.3.3 a 4.3.4. Před započítím zkoušky musí být tělesa očištěna a zbavena vlhkosti. V případě, že je ještě těleso mokré nebo vlhké, vloží se do laboratorní teploty a temperují se do ustálené hmotnosti.

##### 4.3.6.2. Postup zkoušky:

Suché těleso zvážíme a zaznamenáme jeho hmotnost ( $m_1$ ). Poté se těleso ponoří do vody, kde se nechá po dobu nejméně 30-ti minut. Následně se těleso zváží pod vodou a zaznamená se jeho hmotnost ( $m_2$ ). Ihned po zvážení se těleso vyjme z vody, povrchově usuší a zaznamená se jeho hmotnost ( $m_3$ ).

##### 4.3.6.3. Vyjádření výsledků:

Objemovou hmotnost dle postupu b, tedy nasycený suchý povrch (SSD), lze zjistit dle následujícího vztahu:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \cdot \rho_w$$

Kde  $\rho_{ssd}$  je objemová hmotnost SSD, v kg/m<sup>3</sup>;  
 $m_1$  je hmotnost suchého tělesa, v g;  
 $m_2$  je hmotnost tělesa ve vodě, v g;  
 $m_3$  je hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného, v g;  
 $\rho_w$  je hustota vody při zkušební teplotě, v kg/m<sup>3</sup>. Objemovou hmotnost dle  
Všechny hmotnosti se uvádí v gramech s přesností na 0,1 g a všechna měření se stanovují v milimetrech s přesností na 0,1 mm.

#### 4.3.7. Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí:<sup>[12]</sup>

Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí je popsáno v evropské normě ČSN EN 12697-8, s kompletním názvem Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí.

Z popisu zkoušení porovnáváme objemovou hmotnost směsi a to z maximální objemové hmotnosti – kapitola 4.3.5. a ze stanovení objemové hmotnosti asfaltového tělesa – kapitola 4.3.6. a zjistíme jejich výpočtem mezerovitost směsi ( $V_m$ ).

##### 4.3.7.1. Příprava těles a zařízení:

Před samotným zkoušením nám musí být známy maximální objemové hmotnosti směsi a objemové hmotnosti asfaltových těles. V mé diplomové práci tedy hmotnosti pro vyrobené desky - kapitola 4.3.4. a pro vyrobené Marshallovy tělesa – kapitola 4.3.3.

##### 4.3.7.2. Výpočet mezerovitosti asf. směsí:

Mezerovitost směsi se vypočítá s přesností 0,1% dle následujícího vztahu:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \cdot 100$$

Kde  $V_m$  je mezerovitost směsi s přesností, v %;  
 $\rho_m$  je maximální objemová hmotnost směsi, v kg/m<sup>3</sup>;  
 $\rho_b$  je objemová hmotnost zkušební tělesa, v kg/m<sup>3</sup>.

## 4.4. Zkoušení asfaltových směsí:

### 4.4.1. Zkouška trvalých deformací – pojíždění

**kolem:** [13]

Pro tuto problematiku slouží evropská norma ČSN EN 12697-22, která stanovuje, že tato zkouška se může použít pro směsi o maximální velikosti zrna 32mm.

Podstata této zkoušky je zjistit náchylnost asfaltové směsi k trvalým deformacím za co možná nejlépe namodelovaných podmínek. Velikost deformace se měří jako hloubka koleje, která byla vyjeta kolem, které cyklicky pojíždí vyrobenou asfaltovou desku. Zkouška probíhá při konstantní teplotě. Protokoly jsou uvedeny v příloze – kapitola 8.4.

#### 4.4.1.1. Výroba zkušebních těles:

Výroba zkušebních těles, tedy asfaltových desek je popsána v kapitole 4.3.4. Rozměry desky pro tuto zkoušku jsou 260x320x30mm. Tloušťka vrstvy se volila s ohledem na její budoucí umístění do vozovky jako podkladní nebo ložní vrstva.

Těleso se po zhutnění důkladně popíše, zváží a změří se její rozměry. Z vyhotovených hodnot se spočítá objemová hmotnost desky, její mezerovitost a míra zhutnění.

#### 4.4.1.2. Postup zkoušky:

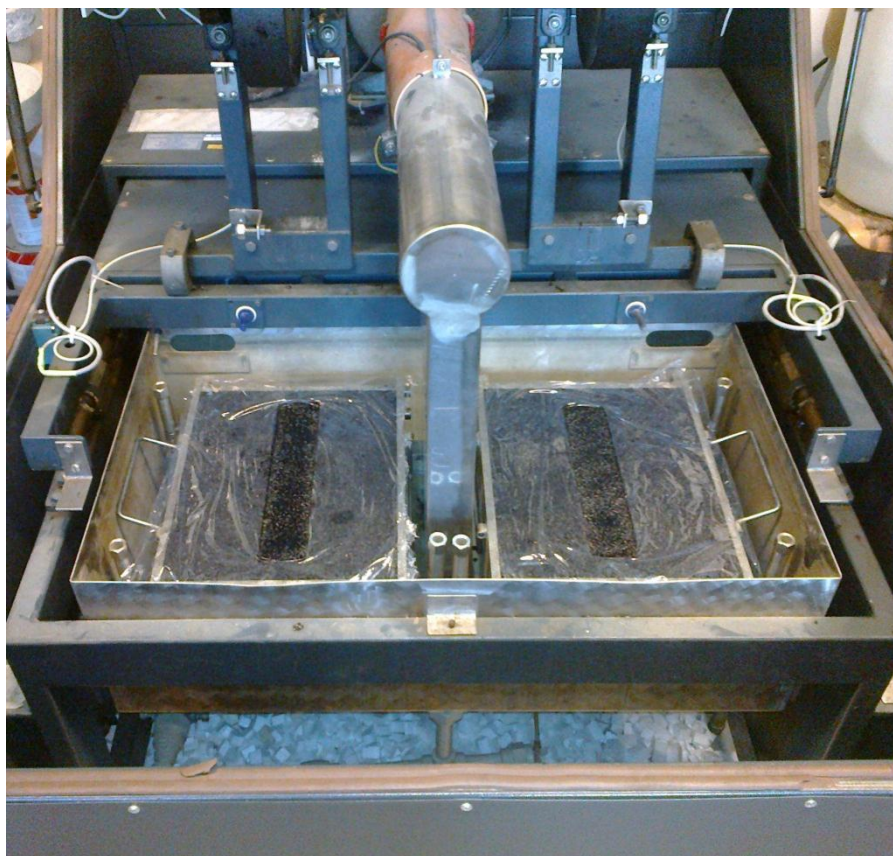
Na počátku zkoušky musíme vyrobenou desku umístit do ocelové formy a nechat celou formu temperovat při teplotě 50°C po dobu nejméně 4 hodin a zároveň maximálně 24 hodin. Tato teplota byla zvolena o 10°C vyšší než předepisují TP147, avšak teplota 50°C může být na povrchu ložní vrstvy dosažena.

Zkontroluje se zkušební zařízení, aby mohly být přesně odečítány hodnoty. Jako vhodné jsem zvolil temperovat i zkušební zařízení po dobu jedné hodiny před počátkem zkoušky.

Po temperování připravených desek se umístí na připravené místo do zkušebního zařízení, upevní se pomocí šroubů, zkontrolují se čidla a na povrch desek se umístí fólie, aby se směs nelepila na pojížděné kolo.

Po uložení desek do přístroje probíhá zkouška plně automaticky. Počet cyklů je nastaven na 10 000 z toho vyplývá, že počet přejezdů je 20 000. Po nabytí této hodnoty se zařízení samo vypne.





Obrázek 22: Desky po zkoušce pojíždění kolem

#### 4.4.1.3. Vyhodnocení zkoušky:

Výsledkem této zkoušky je výpočet průměrného přírůstku hloubky koleje v mm za tisíc cyklů. Základní charakteristikou je nárůst deformace  $WTS_{AIR}$ . Jako druhý výsledek této zkoušky je poměrná hloubka vyjeté koleje k tloušťce desky neboli  $PRD_{AIR}$ .

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$$

Kde  $WTS_{AIR}$  je přírůstek hloubky vyjeté koleje, v mm/ $10^3$  zatěžovacích cyklů;

$d_{10\,000}$ ,  $d_{5\,000}$  je hloubka vyjeté koleje po 5 000, resp. 10 000 cyklech, v mm.

Jako výsledek průměrného přírůstku deformace je průměr ze dvou zkušebních těles.

Průměrná hloubka se stanoví jako podíl vyjeté koleje a tloušťce desky v procentech s přesností na +/- 0,1%.

#### **4.4.2. Stanovení vlastností asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu: [14]**

tato zkouška je popsána v Technických podmínkách – TP 151 – Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti. Podstatou zkoušky je zjištění deformačních charakteristik vybraných asfaltových směsí.

Tato zkouška proběhla také z důvodu, že je potřeba mít pevnosti v tahu za ohybu na zkoušky relaxace asfaltových směsí, která je pro tuto diplomovou práci jedna z priorit. Zkouška byla vyhotovena na všech navržených směsích. Výsledné grafy jsou uvedeny v příloze 8.5.

##### **4.4.2.1. Příprava zkušebních těles:**

Pro tuto zkoušku byla připravena tělesa o rozměrech 40x40x160mm, která byla vyřezána z připravené ztuhlé desky viz. kapitola 4.3.4. Rozměry vzorků se nesmí lišit o více jak 5% a protisměrné strany musí být rovnoběžné. Po vyřezání byly vzorky popsány, změřeny a zváženy. Vše bylo zapsáno do protokolu. Je nutné poznamenat, že v normě je napsáno, že by měly být předpokládané styčné místa polepeny plíškem z důvodu vtlačování podpor do zkušebního tělesa. Toto jsem v mé diplomové práci neudělal.

##### **4.4.2.2. Postup zkoušky:**

Zkouška probíhala při teplotě 0°C až 1 °C ve vodní lázni ve firmě Consultest s.r.o., díky které mohla být tato zkouška vyhotovena.

Pro tuto zkoušku bylo také nutné si vypůjčit vhodné čelisti, které byly vypůjčeny od ústavu technologie stavebních hmot a dílců. Čelisti se před samotnou zkouškou umístili do chladicího zařízení, aby nedošlo ke ztrátě teploty v nádobě. Pro tuto zkoušku bylo také nutné připravit si ledovou drť pro dodatečné dochlazování vodní lázně, aby se teplota pohybovala v určených mezích.

Vychlazený hrnec s vodou se umístí do lisu, vloží se vychlazené čelisti, umístí se vzorek do čelistí a teplota lázně se kontroluje pomocí teploměru. Po těchto úkonech se může spustit samotné měření, které bylo řízeno počítačem. Zkouška probíhá postupným navyšování zatížení na vzorek až do jeho porušení. Zaznamená se maximální síla a přetvoření.





Obrázek 23: Čelisti s připraveným vzorkem, Zdroj: Pavel Coufalík



Obrázek 24: Chlazení vzorků před umístěním do čelistí

#### 4.4.2.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky:

Výsledkem zkoušky je výpočet pevnosti v tahu za ohybu  $R_t$  [kN]. Pevnost v tahu za ohybu se vypočítá pomocí následujícího vztahu:

$$R_t = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2}$$

Kde  $P$  je největší dosažená síla v N,  
 $l$  je vzdálenost podpor zkušebního tělesa v mm,  
 $b$  je šířka zkušebního tělesa v mm,  
 $h$  je výška zkušebního tělesa v mm.

Pevnost v tahu za ohybu  $R_i$  se uvádí s přesností 0,01 MPa. Výsledná hodnota se stanoví jako aritmetický průměr ze tří zkoušených těles. Všechny výsledky se nesmí lišit od průměru o více než 25%.

#### 4.4.3. Zkouška relaxace asfaltových směsí: [15]

Postup na vyhotovení této zkoušky je popsán v Technických podmínkách TP 151 v příloze 1. Podstatou zkoušky je stanovení relaxačních charakteristik hutněných vrstev zkouškou v tahu za ohybu. Zkouška se provádí při teplotě  $\pm 0^\circ\text{C}$  ve vodní lázni, zkouška v mé diplomové práci probíhala na vzduchu – vzorek byl obalen tkaninou pro co možná  $^\circ\text{C}$  nejmenší ztrátu teploty.

Při zkoušce je těleso tvaru hranolu namáháno ohybem – silou, která namáhá vzorek uprostřed rozpětí. Zaznamenává se průběh poklesu síly při neměnném přetvoření.

##### 4.4.3.1. Příprava zkušebních těles:

Pro průběh zkoušky je nutné mít připraveno 6 zkušebních těles o velikosti 40x40x160mm. Tělesa se vyrobí nařezáním zhutněných desek. Protilehlé stěny musí být rovnoběžné a rozměry vzorků se nesmí lišit o více jak 5%. Zkušební tělesa se temperují ve vodní lázni nejméně 1,5 hodiny za použití drceného ledu při stálém míchání. Teplota vodní lázně musí být v rozsahu  $\pm 0$  až  $1^\circ\text{C}$



Obrázek 25: Připravená ledová drť

#### 4.4.3.2. Provádění zkoušky:

Průběh této zkoušky souvisí se zkouškou pevnosti v tahu za ohybu viz. kapitola 4.4.2. Před zkouškou relaxace musí být zkontrolováno popřípadě i kalibrováno zařízení na měření relaxace asfaltových směsí.

Zkouška probíhá ve dvou fázích:

*První fáze* – alespoň na 2 vytemperovaných vzorcích určí maximální dosažená síla a odpovídající pevnost v tahu za ohybu. Zatížení vzorku má být co nejrychlejší, aby nedocházelo k relaxačním účinkům zkušební tělesa.

*Ve druhé fázi* se vytemperovaná zkušební tělesa vkládají do zatěžovacího lisu do přesně stanovených pozic. Ihned se uvede v činnost, aby nedocházelo k tepelným ztrátám vzorku. Vzorek se co nejrychleji zatíží na 2/3 pevnosti v tahu za ohybu. Po dosažení této hodnoty se za stálého přetvoření sleduje úbytek síly v závislosti na čase až na 50% (30%) původní síly. Charakteristickou hodnotu představuje velikost síly po 5-ti minutách od počátku relaxace.



Obrázek 26: Kalibrování zkušebního zařízení

#### 4.4.3.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky:

Z naměřených hodnot se relaxace pro požadovanou dobu vypočítá jako:

Napětí v tahu za ohybu  $\sigma(t)$  v MPa se určí pomocí vztahu:

$$\sigma(t) = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pr(t) \cdot l}{b \cdot h^2}$$

Kde  **$Pr(t)$**  je síla zaznamenaná v čase  $t$  v N (např. pro  $t = 0, 15, 30$  s atd.),

**$l$**  je vzdálenost podpor zkušebního tělesa v mm,

**$b$**  je šířka zkušebního tělesa v mm,

**$h$**  je výška zkušebního tělesa v mm,

Výpočet relativního relaxačního napětí  $\sigma_r(t)$  se stanoví pomocí vztahu:

$$\sigma_r(t) = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pr(t)}{Pr(t_0)}$$

Kde  **$Pr(t_0)$**  je největší dosažená síla [N] neboli síla, která je dosažena na začátku relaxace,

**$Pr(t)$**  je síla zaznamenaná v čase  $t$  [N].

Napětí v tahu za ohybu  **$\sigma(t)$**  se uvádí s přesností na 0,01 MPa, relaxační napětí  **$\sigma_r(t)$**  je bezrozměrné číslo a zapisuje se s přesností na 0,001 nebo popřípadě v procentech s přesností 0,1 %. Výsledkem zkoušky je závislost relaxačního napětí  **$\sigma_r(t)$**  na čase. Výsledná hodnota se spočítá jako aritmetický průměr nejméně tří změřených vzorků. Žádný vzorek se nesmí od aritmetického průměru lišit o více než 25%. U námi dělané zkoušky jsme jako reprezentativní čas brali hodnotu  **$t = 5$  min.**



Obrázek 27: Těleso ihned po uložení do zkušebního zařízení

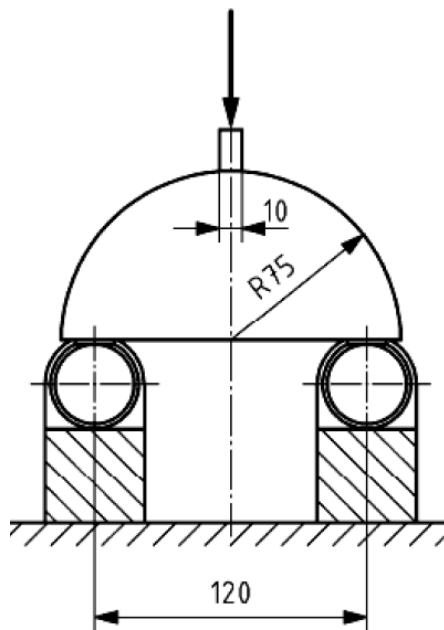
#### 4.4.4. Šíření trhlin na půlválcovém tělese: [16]

Tuto zkoušku popisuje norma ČSN EN 12697-44 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese. Zkouška se provádí při 0°C.

##### 4.4.4.1. Podstata zkoušky:

Půlválcové těleso je zatěžováno ohybem ve 3 bodech tak, že střed spodního líce zkušebního tělesa je vystaven napětí v tahu. V průběhu zkoušky se deformace zvyšuje při konstantní rychlosti 5 mm/min. Odpovídající zatížení se zvyšuje na maximální hodnotu  $F_{\max}$ , která se přímo vztahuje k odolnosti zkušebního tělesa vůči lomu.





Obrázek 29: Uložení tělesa do požadované polohy, Zdroj: ČSN EN 12697-44

#### 4.4.4.2. Příprava zkušebního zařízení a vzorků:

Tělesa se připraví pomocí nařezání ztuhlých desek připravených podle kapitoly 4.3.4. Řezání musí probíhat pokud možno ve směru kolmém k povrchu asfaltové vrstvy (desky). Velikost tělesa musí být průměr  $(150 \pm 1)$  mm a tloušťka  $(50 \pm 3)$  mm. Horní a spodní povrch musí být rovnoběžné. Ve středu zkušebního tělesa se vyřeže drážka o šířce  $(0,35 \pm 0,1)$  mm a hloubce  $(10 \pm 1)$  mm. Bohužel zařízení na nařezání takto úzké drážky nebylo v našich silách možné sehnat, proto byla šířka drážky  $\pm 3$  mm.

Na zařízení ve firmě Consultest s.r.o. se nastavila potřebná zkouška, umístili se potřebné čelisti, které byly v chladicí komoře po dobu minimálně 1 hodiny, a najelo se zařízením pomocí zdvihu do požadované polohy.

#### 4.4.4.3. Postup zkoušky:

Tělesa, která byla po dobu 4 hodin umístěna v klimatické komoře při teplotě  $(0 \pm 1)$  °C, se vyjmou po temperování z klimatické komory a umístí se co nej přesněji na střed zatěžovacího lisu v co nejkratším čase – do 60-ti sekund. Po umístění vzorku do čelistí se pomocí zdvihu najelo těsně nad čelisti a spustila se samotná zkouška. Při dotyku se zařízením aktivuje a začínají se zaznamenávat maximální síla a maximální přetvoření v čase.

#### 4.4.4.4. Vyhodnocení zkoušky:

Zkouška se zaznamenává s přesností pro sílu 1N a pro svislý posun 0,01 mm.

Zkouška se považuje za platnou, pokud se trhлина vyskytuje v oblasti +/-15 mm od středu zatěžovacího pásu. Pokud je trhлина mimo musí se zkoušet další těleso.

**Výpočty:** z grafického znázornění se stanoví maximální síla  $F_{\max,i}$  a svislá deformace  $\Delta W_i$ .

Vypočítá se přetvoření  $\varepsilon_{\max,i}$  při maximální síle podle rovnice:

$$\varepsilon_{\max,i} = \frac{\Delta W_i}{W_i} \times 100 \%$$

kde  $W_i$  je výška zkušební tělesa  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) v milimetrech;

$\Delta W_i$  svislý posun zkušební tělesa  $i$  při maximální síle ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) v milimetrech.

Vypočítá se maximální napětí při porušení  $\sigma_{\max,i}$  podle rovnice:

$$\sigma_{\max,i} = \frac{4,263 \times F_{\max,i}}{D_i \times t_i}$$

kde  $D_i$  je průměr zkušební tělesa  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) v milimetrech;

$t_i$  tloušťka zkušební tělesa  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) v milimetrech;

$F_{\max,i}$  maximální síla zkušební tělesa  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) v newtonech.

Vypočítá se odolnost vůči lomu  $K_{lc,i}$  zkušební tělesa  $i$  ( $i=1,2,3,4$ ) dle rovnice:

$$K_{lc,i} = \sigma_{\max,i} \cdot f\left(\frac{a_i}{W_i}\right)$$

kde  $W_i$  je výška zkušební tělesa  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) v milimetrech (mm);  $a_i$  hloubka drážky zkušební tělesa  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) v milimetrech (mm);

$\sigma_{\max,i}$  napětí při porušení zkušební tělesa  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) v newtonech na milimetr čtvereční (N/mm<sup>2</sup>);

$f(a_i/W_i)$  geometrický faktor zkušební tělesa  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) podle následující rovnice. Tento geometrický faktor nemá žádnou jednotku a musí být zaokrouhlen na tři číslice.

Pro  $9 < a_i < 11$  mm a  $70 < W_i < 75$  mm pak:

$$f\left(\frac{a_i}{W_i}\right) = 5,956$$

Vypočítá se **odolnost vůči lomu  $K_{Ic}$  materiálu** jako průměr hodnot  $K_{Ic,i}$  podle rovnice:

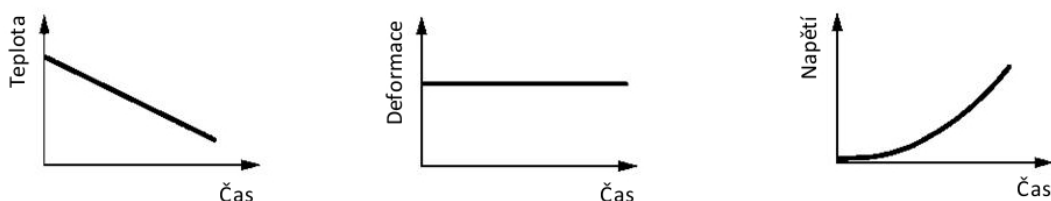
$$K_{Ic} = \frac{\sum_{i=1}^4 k_{Ic,i}}{4}$$

Přesnost hodnoty  $K_{Ic}$  je  $0,1 \text{ N/mm}^{1,5}$ .

#### 4.4.5. Nízkoteplotní vlastnosti: [17]

Nízkoteplotní vlastnosti směsi se popisují v normě ČSN EN 12697-46 (Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem). Tato norma popisuje několik postupů, jak lze dosáhnout minimální teploty na směsích a získat jejich pevnost v tahu.

Pro mou diplomovou práci byl vybrán postup s řízeným poklesem teploty – TSRST. Princip této zkoušky spočívá v tom, že se udržuje konstantní deformace vzorku, díky tuhému rámu za současného snižování teploty, což má za následek nárůst napětí ve vzorku až do jeho porušení.



Obrázek 30: Podstata zkoušky TSRST



#### 4.4.5.1. Příprava zkušebních těles a zařízení:

Zkušební tělesa se vyrábějí podobným způsobem jako tělesa na relaxaci. Pro tělesa na nízkoteplotní vlastnosti se musí navážít navážka asfaltové směsi pro zhutněnou desku o rozměrech 50x260x320mm. Postup při výrobě desky je popsán v kapitole 4.3.4. Deska je nařezána na vzorky o rozměrech 50x50x200mm, které se poté popíšu a nechají se na rovném podkladu, aby mohly vyschnout.

Druhý den se mohly nalepit vzorky do speciálního stojanu pomocí epoxidové pryskyřice, a umístily do takové polohy, aby na všech stranách byla odlehlost vzorku od stran stojanu co možná nejvíce vyrovnaná.

Samotné měření probíhalo v zařízení v laboratoři CYKLON-40. Zařízení je schopno vyvodit pohyby s přesností na 0,1  $\mu\text{m}$ . Systém měření deformace musí umožnit měření v rozsahu od  $\pm 2,5\text{mm}$  do  $\pm 0,5\mu\text{m}$ .

Termostatická komora je tvořena tuhým rámem se skříní s nuceným oběhem vzduchu a lze do ní umístit zkušební zařízení se vzorkem. V komoře se udržuje teplota od  $-40$  do  $+30^{\circ}\text{C}$  s přesností  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Komora musí umožnit řízení teploty s rychlostí  $10^{\circ}\text{C/h}$ .

#### 4.4.5.2. Postup zkoušky:

Těleso se vyjme ze stojanu pro centraci tělesa, umístí se do termostatické komory a mírně se zašroubuje. Poté se k horní a dolní podložce tělesa umístí snímače síly a celý vzorek se dotáhne. Zavře se komora, na řídicí jednotce se nastaví rozměry a seřídí se snímače. Po seřízení snímačů se spustí zařízení a po temperaci zkušební komory ( 15 minut) se spustí samotná zkouška.

#### 4.4.5.3. Vyhodnocení zkoušky:

Výsledkem této zkoušky je grafické a číselné zobrazení maximální síly při porušení, maximální napětí při porušení a teplotu vzorku při porušení.



Obrázek 31+32: Tělesa před a po zkoušce nízkoteplotních vlastností

#### **4.4.6. Experimentální zkouška měření únavových charakteristik asfaltových těles: [18]**

Pro tuto zkoušku, jak již název napovídá, není předepsaná žádná norma ale je možné různé nastavení a hodnoty převzít z normy ČSN EN 12697-24 s názvem: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 24: Odolnost vůči únavě. Podstata této zkoušky je namáhat těleso cyklickým zatížením při stejných teplotách a stejné frekvenci. To má za následek pokles celkového modulu tuhosti vzorku. Konec zkoušky se považuje, když těleso ztratí svůj původní modul tuhosti o více jak 50%.

##### **4.4.6.1. Příprava zkušebních těles a zařízení:**

Tělesa se připraví nařezáním zhutněných desek viz. kapitola 4.3.4. na trámečky o rozměrech 30x30x250mm. Po nařezání se vzorky popíšu, upevní do svěráku a nařežou se drážky naproti sobě po obou stranách ve výšce 1/3 vzorku o zvolené hloubce. Jako zvolenou hloubku jsme u našich vzorků nejdříve uvažovali hloubku 2 mm. V popisu hloubky drážky budu popisovat pouze jednu nařezanou stranu, tudíž výsledné zeslabení vzorku bude 2x větší. Trámečky se nalepí do podložek pomocí epoxidové pryskyřice a nechají se den při laboratorní teplotě. Poté se umístí do komory o zvolené teplotě na dobu nejméně 2 hodin. Hodinu před samotnou zkouškou se nechá temperovat i zkušební komora. Na závěr se do zkušebního zařízení umístí vytemperované vzorky a utáhnou se do stanovené polohy.

##### **4.4.6.2. Průběh zkoušky:**

Po upnutí tělesa do stanovené polohy se nastaví se rozměry vzorku na snímacím zařízení a spustí se samotná zkouška. Namáhání vzorku je zajištěno pomocí excentru, který zajišťuje sinusové namáhání vzorku. Teplota byla v průběhu experimentu (-10 a -5°C) a frekvence (25 a 20Hz). Při průběhu zkoušky lze sledovat snižující se modul tuhosti na zobrazovaném grafu.

##### **4.4.6.3. Výsledky experimentu:**

V našem experimentu jsme se potkávali s mnoha problémy, díky kterým byl tento experiment po tříměsíčním korigování vzorků a zkušebního zařízení, ukončen bez přijatelného výsledku. Pojdme si tedy shrnout veškeré problémy, se kterými jsme se potýkali.

Jak je výše zmíněno nejprve byla hloubka drážky vzorku 2mm, frekvence 25Hz a teplota -10°C. To ale přineslo několik problémů. Jako první závažný problém byl, že těleso se neunavilo ani po 400 000 cyklech a při frekvenci 25Hz jsme naráželi na problém s vlastní frekvencí vzorku. Excentr byl několikrát přenastavován od nejmenších až po největší ale pokaždé vycházely jiné výsledky než u předchozího tělesa. Jako závěrečnou možnost jsme tedy nastavili hodnoty na: hloubka drážky (10+/- 1 mm), teplota při zkoušení -5°C a frekvence 20Hz. Po tomto nastavení bylo spuštěno zařízení a měly vycházet přijatelné výsledky. Bohužel ale opak byl pravdou. Zařízení se hned ze začátku, asi po 20-100 cyklech, zaseklo a nereagovalo na příkazy, proto musela být celá zkouška ihned ukončena, aby nedošlo k unavení vzorku. Celý tento proces proběhl několikrát za vyměňování excentrů. Bohužel pokaždé se stejným výsledkem.

Jak z výše uvedených vět vyplývá, není tedy možné z této zkoušky udělat nějaké závěry. Celkem bylo tedy v přístroji vyzkoušeno 6 vzorků ( 3xRM+ otevřená, 2x RMB zavřená a 1x RMB otevřená) pokaždé s jinými výsledky. Zrovna pro tento experiment bych chtěl zvláště poděkovat Ing. Ondřeji Daškovi a Pavlu Strakovi za neustálé pomáhání s přenastavením zařízení a probírání možných příčin výsledků.

Přesné nakalibrování těles a zařízení je tedy nemožné v rámci této diplomové práce z důvodu materiálního a hlavně časového obsáhnout.

Hlavní příčinou neustálého nevycházení výsledků považujeme nevyhovující rozměry vzorků. Ty by mohly být 50x50x250 mm s drážkou (10+/-1 mm) nebo dle výše uvedené normy ve tvaru trapezoidu. Frekvence a teplota jsou poté na dohodě.

Dosažené výsledky budou i s popisem uvedeny v příloze.

## **4.5. Výsledky Zkoušek:**

V této kapitole si shrneme všechny výsledky, které nebyly ještě popsány v této diplomové práci – nebudou zde popsány zkoušky na vstupních materiálech.

### **4.5.1. Mezerovitost – maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost:**

V této kapitole si ukážeme výsledky mezerovitostí, maximální objemové hmotnosti a objemové hmotnosti z jednotlivých návrhů asfaltových směsí.

Výsledky jsou uvedeny společně v jedné tabulce. Tabulky jsou uvedeny níže:

#### 4.5.1.1. Zavřené směsi:

##### Směs číslo 5 RM+ zavřená:

Návrhovaná směs : <u>SAL, RM+, návrh 5,zavřená</u>								
Stanovení maximální objemové hmotnosti pmv asfaltové směsi :								
					Pyknometr IV	Pyknometr V		
Označení pyknometru					Vzorek I	Vzorek II	Průměr	
Pyknometr prázdný m <sub>1</sub> (g)					379	384,2		
Pyknometr+vzorek m <sub>2</sub> (g)					1034,0	1004,1		
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) m <sub>3</sub> (g)					1573,0	1565,5		
Objem pyknometru V <sub>p</sub> (ml)					658,1	658,0		
Hustota vody (rozp.) ρ <sub>w</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )					1,452	1,452		
Teplota temperace (°C)					25,0	25,0		
Maximální objemová hmotnost ρ <sub>mv</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )					2,283	2,284	2,284	

Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa :								
SAL					ρ <sub>w</sub> = 998,3			
č. vzorku	M1	M2	M3	ρ <sub>bssd</sub>	Mezerovitost	ρ nezhut		
1.	1184,5	654,8	1184,9	2230,69	2,25%	2283,77		
2.	1186,4	656,1	1186,8	2231,74				
3.	1186,5	656,7	1186,8	2234,45				
$\bar{x}$				2232,29				

Tabulka 19: Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost a výsledná mezerovitost finální zavřené směsi s RM+ č. 5

##### Směs číslo 1 RMB zavřená:

Návrhovaná směs : <b>SAL, RmB,náv. 1, zavřená</b>								
Stanovení maximální objemové hmotnosti pmv asfaltové směsi :								
				Pyknometr V	Pyknometr II			
Označení pyknometru				Vzorek I	Vzorek II	Průměr		
Pyknometr prázdný m <sub>1</sub> (g)				379,9	384,2			
Pyknometr+vzorek m <sub>2</sub> (g)				1019,0	997,8			
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) m <sub>3</sub> (g)				1570,1	1562,6			
Objem pyknometru V <sub>p</sub> (ml)				658,1	658,0			
Hustota vody (rozp.) ρ <sub>w</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )				1,452	1,452			
Teplota temperace (°C)				25,0	25,0			
Maximální objemová hmotnost ρ <sub>mv</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )				2,294	2,281	2,288		
Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa :								
SAL					ρ <sub>w(20,5)</sub> = 998,3			
č. vzorku	M1	M2	M3	ρ <sub>bssd</sub>	Mezerovitost	ρ nezhut		
1.	1191,9	655,8	1192,5	2217,02	2,87%	2287,611		
2.	1193,4	657,8	1193,8	2222,71				
3.	1194	658,8	1194,2	2226,32				
$\bar{x}$				2222,01				

Tabulka 20: Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost a výsledná mezerovitost finální zavřené směsi s RMB č. 1

4.5.1.2. Otevřené směsi:**Směs číslo 2 RMB otevřená:**Návrhovaná směs : **SAL,RmB,náv. 2, otevřená****Stanovení maximální objemové hmotnosti pmv asfaltové směsi :**

	Pyknometr I	Pyknometr II	
Označení pyknometru	Vzorek I	Vzorek II	Průměr
Pyknometr prázdný $m_1$ (g)	379	384,2	
Pyknometr+vzorek $m_2$ (g)	809,7	810,4	
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$ (g)	1499,6	1502,7	
Objem pyknometru $V_p$ (ml)	658,1	658,0	
Hustota vody (rozp.) $\rho_w$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1,452	1,452	
Teplota teploty (°C)	25,0	25,0	
Maximální objemová hmotnost $\rho_{mv}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	<b>2,354</b>	<b>2,352</b>	<b>2,353</b>

**Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa :**

SAL				$\rho_{w(20,5)} = 998,3$		
č. vzorku	M1	M2	M3	$\rho_{bssd}$	Mezerovitost	$\rho$ nezhut
1.	1194,4	666	1195,4	2252,30	<b>4,70%</b>	2353,006
2.	1199,9	664,4	1201,2	2231,48		
3.	1197,3	665,8	1198,6	2243,36		
$\bar{x}$				<b>2242,38</b>		

Tabulka 21: Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost a výsledná mezerovitost finální otevřené směsi s RMB č. 2

### 4.5.2. Výsledky zkoušky trvalých deformací:

Tato zkouška byla vyhotovena na všech optimalizovaných směsích.

Desky vyrobené pro tuto zkoušku měly tloušťku 30 mm. Výroba desek probíhala podle kapitoly 4.3.4.

Shrneme si tedy všechny výsledky. Protokoly jsou uvedeny v příloze – kapitola 8.4.

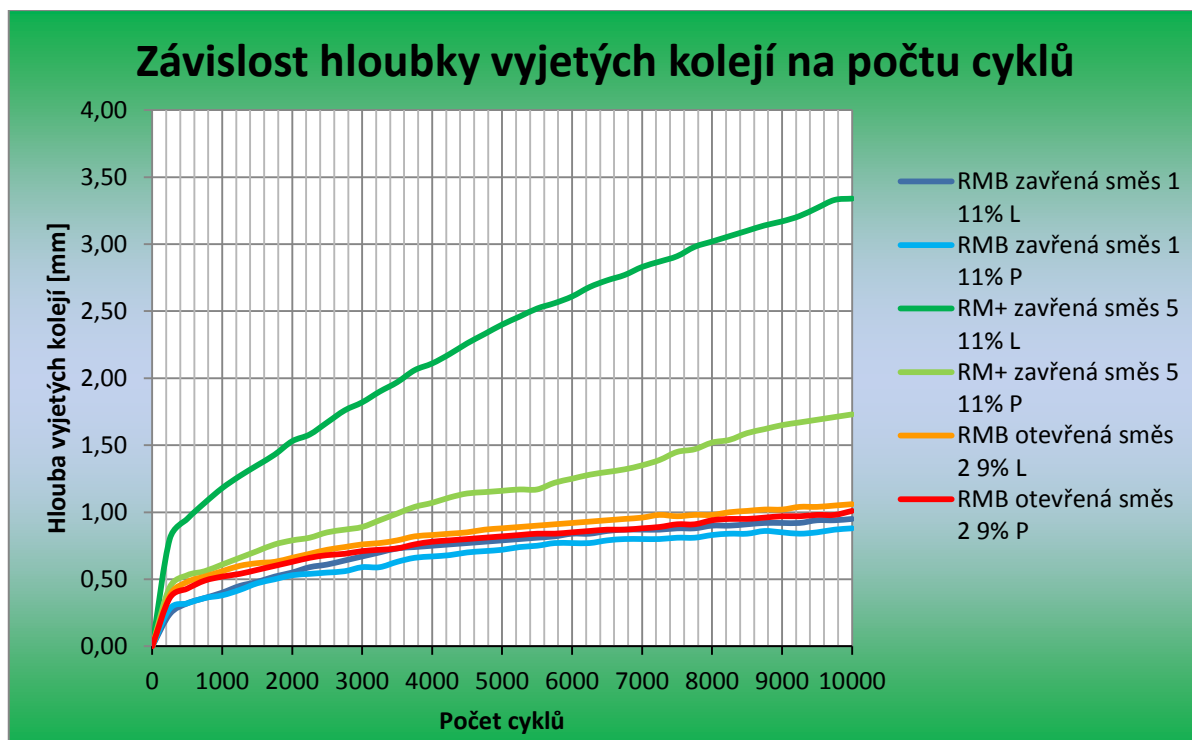
**Trvalé deformace - přehled směsí:**

	Zavřené směsi				Otevřená směs	
počet cyklů	RM+ směs 5 11,0%		RMB směs1 11,0%		RMB směs1 9,0%	
deska	levá	pravá	levá	pravá	levá	pravá
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500	0,95	0,53	0,32	0,32	0,48	0,43
1250	1,27	0,66	0,45	0,42	0,60	0,54
2500	1,67	0,85	0,61	0,55	0,72	0,68
5000	2,40	1,16	0,79	0,72	0,88	0,82
7500	2,91	1,45	0,88	0,81	0,97	0,91
10000	3,34	1,73	0,95	0,88	1,06	1,01

Tabulka 22: Hloubky vyjetých kolejí u jednotlivých desek

Z tabulky 22 je patrné, že levá deska směsi RM+ dokazovala výrazně větší hloubky koleje než deska pravá. Před i po zkoušce byla provedena kontrola čidel, zařízení a zatížení, vše bylo v pořádku. Ovšem je zarážející, že všechny levé desky, i když nepatrně u ostatních směsí, vyšly s vyšší deformací. Nejhorší výsledek, tedy RM+ levá deska, je v tabulce 22 zobrazen červeně. Nejlepší deska se ukázala jako RMB zavřená pravá v tabulce 22 označena zeleně. Nutno poznamenat že směsi RMB vyšly velmi podobně vzhledem k jejich složení.





Graf 14: Závislost hloubky vyjetých kolejí na počtu cyklů

Z grafu 14 je patrné, že směsi RMB vycházely velmi podobně, směsi RM+ vycházely o poznání hůře, zejména pak levá deska.

#### Vyhodnocení směsí:

		RM+ směs 5 11,0%		RMB směs1 11,0%		RMB směs1 9,0%	
		levá	pravá	levá	pravá	levá	pravá
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	2232,50	2247,70	2219,70	2234,50	2240,30	2241,90
Objemová hmotnost ž.	[kg/m <sup>3</sup> ]	2232,00	2232,00	2222,00	2222,00	2242,40	2242,40
Míra zhutnění	[%]	100,00	100,70	99,90	100,60	99,90	100,00
Mezerovitost	[%]	2,20	1,60	3,00	2,30	4,80	4,70
PRD <sub>AIR</sub>	[%]	11,21	5,79	3,19	2,94	3,53	3,37
WTS <sub>AIR</sub>	[mm/103cyklů]	0,188	0,114	0,032	0,032	0,036	0,038

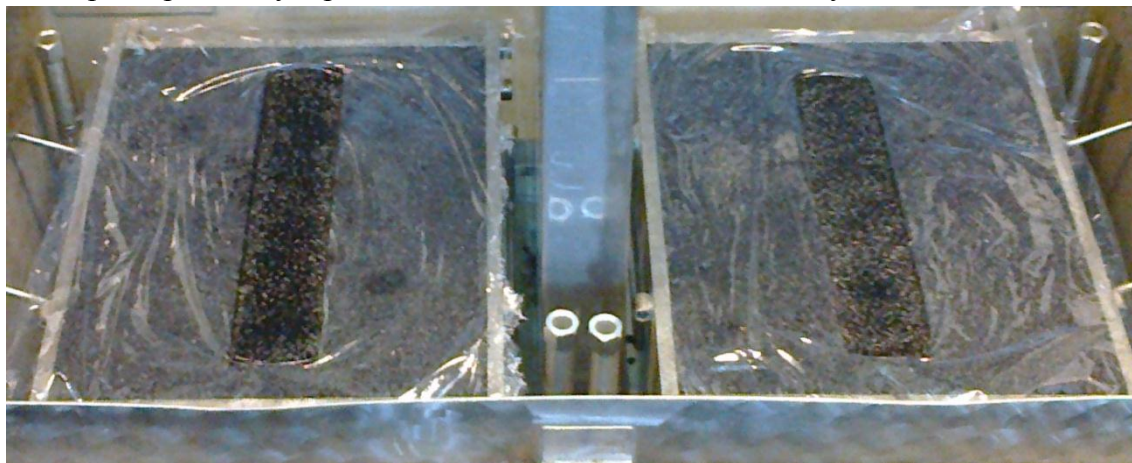
Tabulka 23: Vyhodnocení všech finálních směsí (desek) na trvalé deformace



V kapitole 4.4.1. je řečeno, že výsledkem této zkoušky je grafické znázornění hloubky vyjeté koleje. Poté se vypočítávají základní charakteristiky jako je přírůstek hloubky vyjeté koleje  $WTS_{AIR}$  a průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje  $PRD_{AIR}$ . Obě tyto hodnoty jsou uvedeny v TP 147.  $WTS_{AIR}$  nesmí být větší než 0,08mm a  $PRD_{AIR}$  nesmí být větší než 8,0%. Nutno poznamenat, že TP 147 stanovují teploty zkoušky na 40 °C, ale naše zkouška probíhala při 50 °C. Vzhledem k vlastnostem asfaltových směsí se tedy daly očekávat horší výsledky s vyšší teplotou.

Jak lze vidět v tabulce 23 zcela nevyšla levá deska směsi RM+ a na přírůstek hloubky koleje nevyšla ani pravá deska této směsi.

Ostatní desky vyšly dle TP 147 na mezní hodnoty, v tabulce 23 označené zeleně. Již na první pohled bylo patrné, že levá deska dosáhne horších výsledků viz. obrázek 33



Obrázek 33: Směs RM+ po zkoušce trvalých deformací



Obrázek 34: Levá deska RM+ po zkoušce trvalých deformací

### 4.5.3. Výsledky zkoušky v tahu za ohybu:

Popis této zkoušky je uveden v kapitole 4.4.2., kde je popsáno, že podstatou zkoušky je zjištění deformačních charakteristik u vybraných finálních směsí. Zkouška byla provedena na finálních směsích RM+ a RMB zavřená a na RMB otevřená. Výsledky této zkoušky jsou použity do zkoušky relaxace asfaltových směsí. Výsledky dosažené na jednotlivých tělesech jsou znázorněny v tabulce 24. Výsledné grafy jsou uvedeny v příloze 8.5.

	Číslo vzorku	Obsah pojiva	Hmotnost m	Vzdálenost podpor l	Šířka b	Výška h	Délka d	Síla P	Pevnost v tahu za ohybu Ri	Průměrná pevnost v tahu za ohybu	Průhyb při porušení Ys
		[%]	[g]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[Mpa]	[Mpa]	[mm]
RM+	6	11,0	583,4	100,0	39,6	41,2	162,0	3780,0	8,4	<b>8,4</b>	2,64
	7	11,0	583,5	100,0	39,9	40,9	162,0	3723,0	8,4		2,39
RMBz	3	11,0	577,9	100,0	39,9	41,0	158,8	4328,0	9,7	<b>10,1</b>	2,47
	4	11,0	574,8	100,0	39,4	40,6	158,8	4531,0	10,5		2,30
RMBo	3	9,0	573,8	100,0	39,4	40,5	162,5	4207,0	9,8	<b>10,3</b>	3,03
	4	9,0	566,8	100,0	39,5	41,1	162,5	4856,0	10,9		2,62

Tabulka 24: Výsledky ze zkoušení těles v tahu za ohybu

Po vyhodnocení výsledků si znázorníme vzorky pomocí fotodokumentace:



Obrázek 35: Vzorky po zkoušce v tahu za ohybu

#### 4.5.4. Výsledky relaxace asfaltových směsí:

V této kapitole si popíšeme výsledky zkoušky relaxace, která je popsána v kapitole 4.4.3. Zkouška byla provedena na finálních směsích RM+ a RMB zavřená a na RMB otevřená.

RM+									
Vzorek:	l [mm]	b [mm]	h [mm]	Pr(t <sub>0</sub> )[N]	Pr(t) [N]	σ(t) [MPa]	σ <sub>r</sub> (t) [MPa]	Výsledné σ <sub>r</sub> (t) [MPa]:	Odlišnost +/- 25%:
1(2)	91	40	40	2501	442,5	0,94	0,265	0,282	OK
2(3)	91	40	40	2501	483,9	1,03	0,290		OK
3(1)	91	40	40	2501	484,5	1,03	0,291		OK
RMB zavřená									
Vzorek:	l [mm]	b [mm]	h [mm]	Pr(t <sub>0</sub> )[N]	Pr(t) [N]	σ(t) [MPa]	σ <sub>r</sub> (t) [MPa]	Výsledné σ <sub>r</sub> (t) [MPa]:	Odlišnost +/- 25%:
1(6)	100	40	40	2953	725,7	1,70	0,369	0,331	OK
2(7)	100	40	40	2953	646,2	1,51	0,328		OK
3(5)	100	40	40	2953	630,5	1,48	0,320		OK
4(9)	100	40	40	2953	601,5	1,41	0,306		OK
RMB otevřená									
Vzorek:	l [mm]	b [mm]	h [mm]	Pr(t <sub>0</sub> )[N]	Pr(t) [N]	σ(t) [MPa]	σ <sub>r</sub> (t) [MPa]	Výsledné σ <sub>r</sub> (t) [MPa]:	Odlišnost +/- 25%:
1(2)	100	40	40	3021	588,1	1,38	0,292	0,281	OK
2(3)	100	40	40	3021	615,8	1,44	0,306		OK
3(1)	100	40	40	3021	565,6	1,33	0,281		OK
4(1)	100	40	40	3021	494,6	1,16	0,246		OK

Tabulka 25: Souhrnné výsledky relaxací



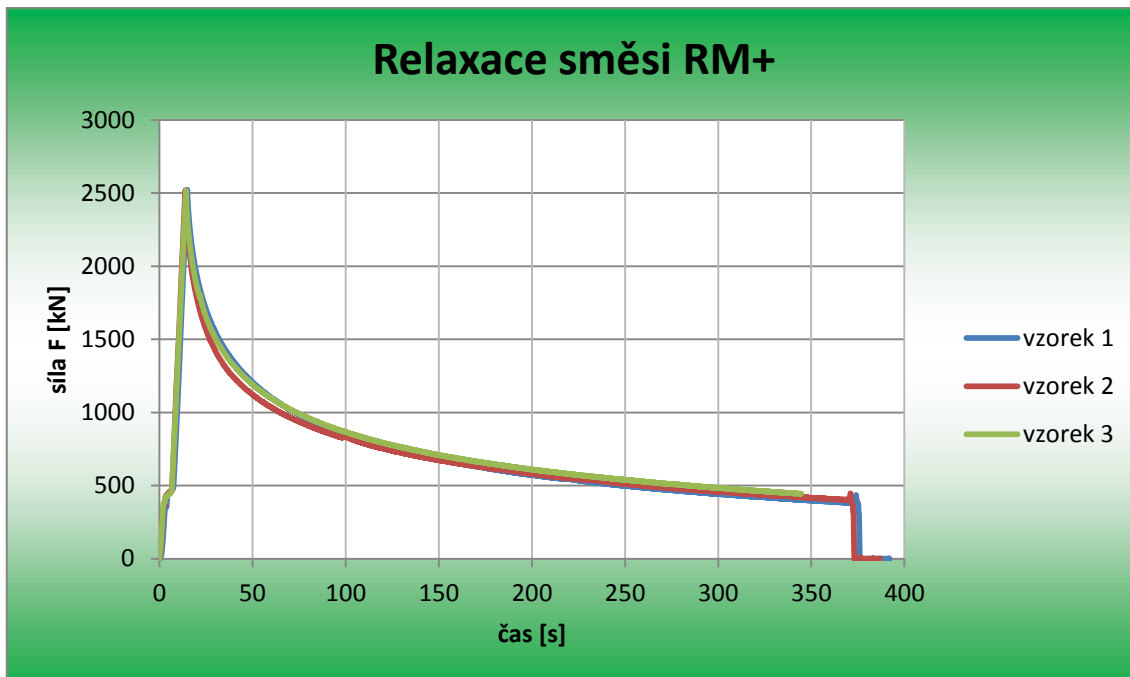
	RM+(Fmax= 2520MPa)		RMB (Fmax=2953MPa)		RMBo(Fmax= 3021 MPa)	
vzor.	50%	30%	50%	30%	50%	30%
1	1477,2	724,9	1948,7	1100	1994,6	1057,5
2	1413,2	719	1884,6	1006,8	2057	1090,4
3	1463,2	751,3	1887,3	1004,5	2006	1030,9
4			1820	952,8	1888	914,2
<b>Další požadované vlastnosti na směsích:</b>						
	<b>RM+</b>					
	vzorek	1	2	3	celkově	
$\sigma_{\min}=0,8$ MPa		0,94	1,03	1,03	OK	
50% za 18s [%]		58,62	56,08	58,06	Nevyhoví	
30% za 120s [%]		28,77	28,53	29,81	OK	
	<b>RMB zařená</b>					
	vzorek	1	2	3	4	Celkově
$\sigma_{\min}=0,8$ MPa		1,70	1,51	1,48	1,41	OK
50% za 18s [%]		65,50	63,35	63,44	61,18	Nevyhoví
30% za 120s [%]		36,97	33,84	33,76	32,03	Nevyhoví
	<b>RMB otevřená</b>					
	vzorek	1	2	3	4	Celkově
$\sigma_{\min}=0,8$ MPa		1,38	1,44	1,33	1,16	OK
50% za 18s [%]		66,02	68,09	66,40	62,50	Nevyhoví
30% za 120s [%]		35,00	36,09	34,12	30,26	Nevyhoví

Tabulka 26: Další požadované vlastnosti relaxací asfaltových směsí

Je pro mě nemilé, i když z podstaty věci velmi důležité, říci, že jsem během této zkoušky udělal chybu. Jak je vidět z tabulky 25 jsou špatně nastavené vzdálenosti podpor při zkoušce relaxace u směsi RM+. vzdálenost podpor měla být stejná jako u směsi RMB a to 100mm ale mým nezkontrolováním nastavením přístroje vznikla tato chyba o velikosti 9 mm. Výsledek směsi RM+ zde tedy nelze s přesností určit a musí být tato směs znova vyrobena a odzkoušena.

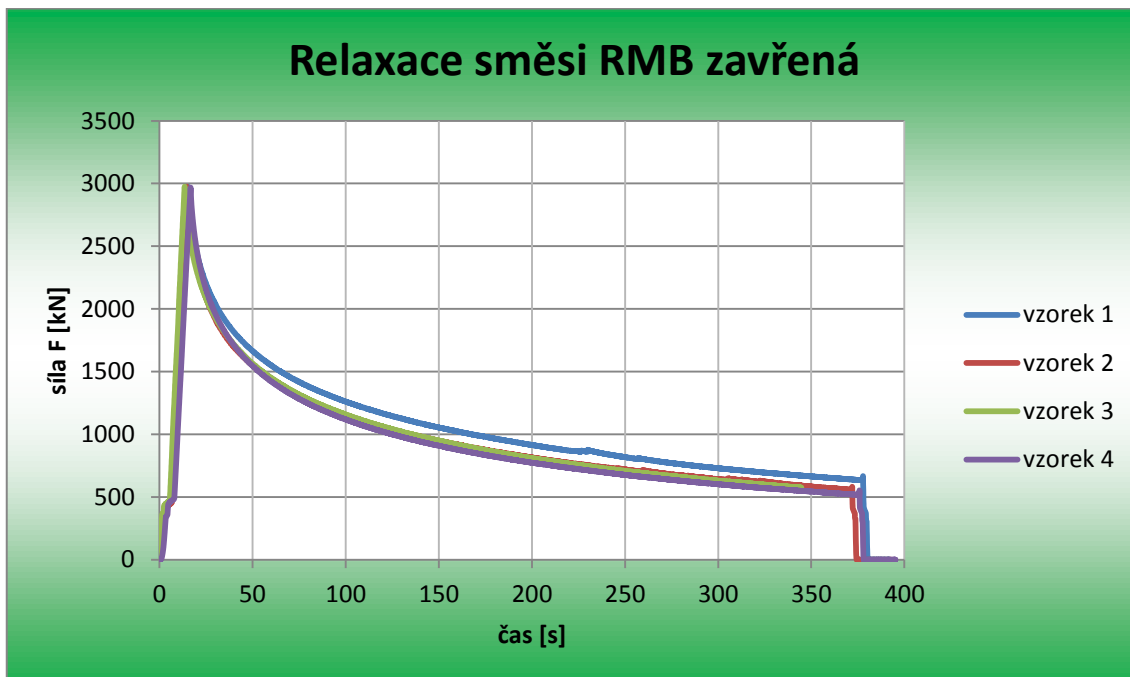
**Grafy relaxací:**

Relaxace RM+:



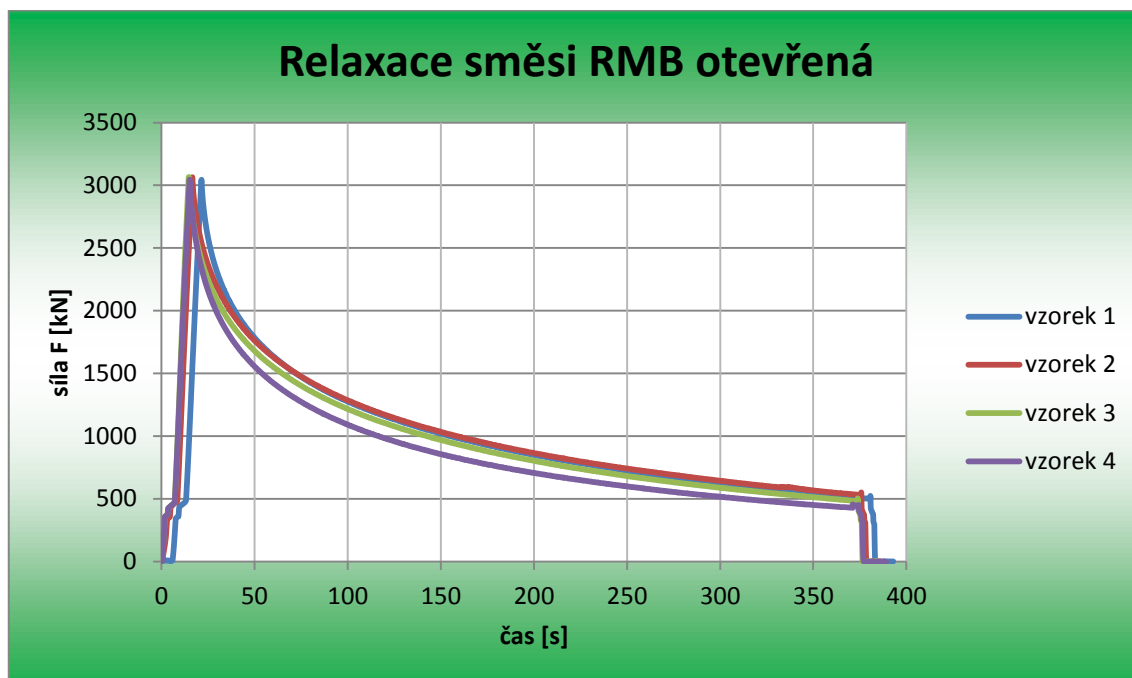
Graf 15: Relaxace směsi RM+

Relaxace RMB zavřená:



Graf 16: Relaxace směsi RMB zavřená

Relaxace směsi RMB otevřená:



Graf 16: Relaxace směsi RMB otevřená

#### 4.5.5. Výsledky šíření trhlin na půlválcovém tělese:

Průběh této zkoušky je popsán v kapitole 4.4.4. Po vyhodnocení této zkoušky zjistíme odolnost asfaltového zkušební tělesa proti šíření trhlin

<b>RM+</b>						
f(a <sub>i</sub> /W <sub>i</sub> )=		5,956				
vzorek	F <sub>max</sub>	ΔW	ε <sub>max</sub>	σ <sub>max</sub>	K <sub>ic</sub>	ØK <sub>ic</sub>
1	8458,00	0,70	1,00	4,83	28,75	<b>30,87</b>
2	8987,00	0,82	1,10	5,10	30,38	
3	9089,00	0,99	1,40	5,19	30,91	
4	9832,00	1,06	1,41	5,61	33,42	

Tabulka 27: Výsledky půlválcového tělesa směsi RM+

<b>RMB</b>						
f(ai/Wi)=	5,956					
vzorek	F <sub>max</sub>	ΔW	ε <sub>max</sub>	σ <sub>max</sub>	K <sub>ic</sub>	ØK <sub>ic</sub>
1	7173,00	1,02	1,47	4,13	24,59	<b>27,31</b>
2	8655,00	1,24	1,64	4,96	29,56	
3	7771,00	0,83	1,15	4,46	26,56	
4	8350,00	0,78	1,06	4,79	28,55	

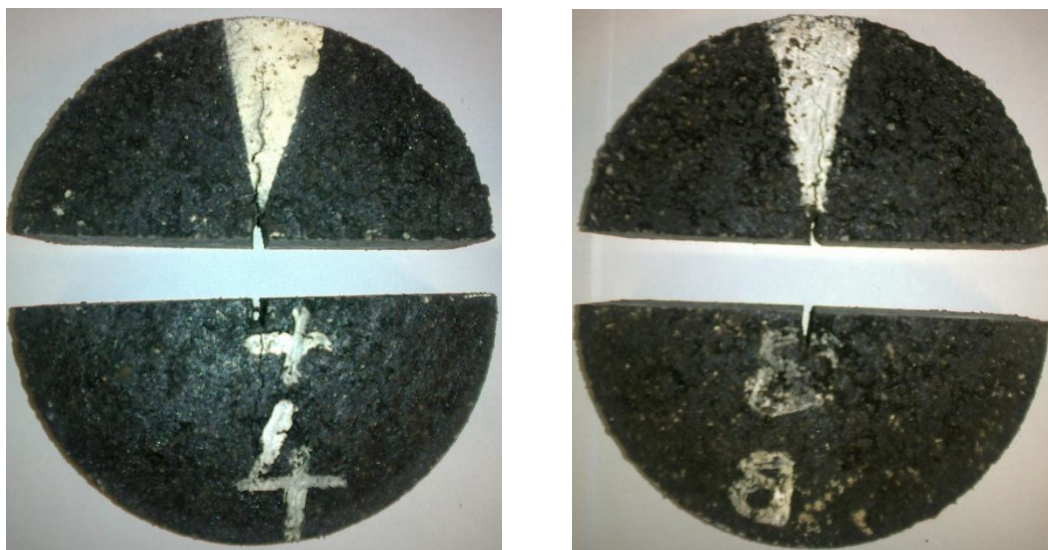
Tabulka 28: Výsledky půlválcového tělesa směsi RMB zavřená

<b>RMB</b>						
vzorek	F <sub>max</sub>	ΔW	ε <sub>max</sub>	σ <sub>max</sub>	K <sub>ic</sub>	ØK <sub>ic</sub>
1	7376,00	0,78	1,08	4,28	25,51	<b>25,46</b>
2	8796,00	0,90	1,23	5,12	30,49	
3	8777,00	0,74	1,03	5,12	30,48	<b>30,48</b>
4	7338,00	0,99	1,36	4,26	25,40	

Tabulka 29: Výsledky půlválcového tělesa směsi RMB otevřená

Z výsledků této zkoušky nelze jednoznačně stanovit, která směs je lepší než druhá. Všechny výsledky jsou v rámci jednotek stejné bez výraznější odchylky.

U výsledků směsi RMB otevřená jsem úmyslně oddělil výsledky dvou vyřezaných vzorků od sebe, z důvodu odlišného výsledku. Jak je vidět z tabulky 29 jen oddělení výsledků od sebe udělá rozdíl 5-ti jednotek.



Obrázek 36+37: Zobrazené tělesa RM+ vzorek 4 a RMBz vzorek 3 po zkoušce šíření trhlin



#### 4.5.6. Výsledky nízkoteplotních vlastností:

Postup při průběhu této zkoušky je popsán v kapitole 4.4.5. Výsledky na jednotlivých tělesech si ukážeme souhrnně pro jednotlivé směsi. Výsledné grafy jsou uvedeny v příloze – kapitola 8.7.

Výsledky pro směs RM+:

<b>Akce :</b>	dip. Práce	dip. Práce
<b>Asfaltová směs :</b>	<b>RM+ vzorek 2</b>	<b>RM+ vzorek 1</b>
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	26.6.2013	20.6.2013
<b>Zkoušku provedl :</b>	Martin Kalfeřt	Martin Kalfeřt
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	<b>10,45</b>	<b>10,82</b>
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	<b>4,18</b>	<b>4,33</b>
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	<b>-30,5</b>	<b>-30,5</b>
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	<b>-26,7</b>	<b>-27,1</b>

Tabulka 30: Výsledky nízkoteplotních vlastností směsi RM+

Z tabulky 30 je patrné, že oba vzorky vyšly skoro přesně. Výsledné hodnoty lze s největší pravděpodobností brát jako určující.

Výsledky pro směs RMB zavřená:

<b>Akce :</b>	Dip. Práce	Dip. Práce
<b>Asfaltová směs :</b>	<b>RMB 3</b>	<b>RMB 2</b>
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	18.6.2013	19.6.2013
<b>Zkoušku provedl :</b>	Martin Kalfeřt	Martin Kalfeřt
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	<b>7,87</b>	<b>8,63</b>
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	<b>3,15</b>	<b>3,45</b>
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	<b>-28,4</b>	<b>-29,5</b>
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	<b>-24,5</b>	<b>-26,1</b>

Tabulka 31: Výsledky nízkoteplotních vlastností směsi RMB zavřená

Výsledky pro směs RMB otevřená:

<b>Akce :</b>	<b>Dip. Práce</b>	<b>Dip. Práce</b>
<b>Asfaltová směs :</b>	<b>RmB otevř. vz. 1</b>	<b>RmB otevř. Vz. 4</b>
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	17.7.2013	18.7.2013
<b>Zkoušku provedl :</b>	Martin Kalfeřt	Martin Kalfeřt
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	<b>7,68</b>	<b>6,58</b>
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	<b>3,07</b>	<b>2,63</b>
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	<b>-25,9</b>	<b>-23,0</b>
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	<b>-22,0</b>	<b>-20,5</b>

Tabulka 32: Výsledky nízkoteplotních vlastností směsi RMB otevřená

Na výsledné směsi RMB otevřená vyšly největší rozdíly při porušení vzorku. Tento výsledek se očekával vlivem vyšší mezerovitosti oproti ostatním zavřeným směsím.

Všechny tři směsi se porušily křehkým lomem a následně klesla síla na nulu.



Obrázek 38+39: Příklad tělesa vyjmutého ze zařízení po proběhlé zkoušce nízkoteplotních vlastností

#### 4.5.7. Experimentální zkouška měření únavových charakteristik asfaltových těles:

Výsledky nebyly vyhotoveny z důvodů uvedených v kapitole 4.4.6.



Obrázek 40: Příklad připravených těles na experimentální zkoušku, která nebyla z časových důvodů vyzkoušena

## 4.6. Souhrnné výsledky zkoušek:

	Trvalé deformace		Šíření trhlin	Nízkoteplotní vl.			Relaxace				
	8%	0,08									
požadavky TP 147	PRDAIR [%]	WTS <sub>AIR</sub>	ØK <sub>ic</sub>	teplota [°C]	F <sub>max</sub> [kN]	napětí [Mpa]	F <sub>max</sub>	σ <sub>min</sub> =0,8 Mpa	50% za 80s [%]	30% za 120s [%]	σ <sub>r</sub> (t) [MPa]
<b>RM+ zavřená</b>	11,21	0,188	30,87	-26,7	10,45	4,18	2520	1	57,59	29,04	0,282
	5,79	0,114		-27,1	10,82	4,33					
<b>RMB zavřená</b>	3,19	0,032	27,31	-24,5	7,87	3,15	2953	1,53	63,37	34,15	0,331
	2,94	0,032		-26,1	8,63	3,45					
<b>RMB otevřená</b>	3,53	0,036	Zde vyšly 2 rozdílné hodnoty <b>25,6 a 30,48</b> s ohledem na vývrt	-22	7,68	3,07	2953	1,33	65,75	33,87	0,293
	3,37	0,038		-20,5	6,58	2,63					

Tabulka 33: Souhrnné výsledky na optimalizovaných směsích

## 5. Závěr:

V diplomové práci byly navrženy směsi SAL z pojiva modifikovaného pryžovým granulátem, na kterých byly dále prováděny vybrané zkoušky.

V mé práci byly navrženy směsi ze dvou druhů pojiva. Obě pojiva byla modifikována pryžovým granulátem. První modifikované pojivo z firmy Shell s označením RM+ a druhé pojivo, které bylo vyráběno v laboratoři, s označením RMB.

Pro diplomovou práci bylo navrženo celkem 10 směsí, z nichž byly vybrány 3 reprezentativní. Všechny směsi se navrhovaly tak, aby výsledné zkoušky vyhověly požadavkům TP 147. Ovšem samotné složení směsi je navrhováno tak, abychom našli optimálnější složení, než je uvedeno v TP 147. Z tohoto důvodu bylo vybočeno ze stanoveného zrnitostního složení v tomto předpise. Obsah pojiva ve směsích se pohyboval od 9% do 11%.

Směsi byly dále rozděleny do dvou kategorií. První kategorie neboli ZAVŘENÁ směs byla uvažována jako pod ložní vrstvu s vyšším obsahem asfaltu do 11% s maximální velikostí kameniva do 4 mm a s mezerovitostí 2-3%. Zde se uvažoval již větší roznos zatížení od dopravy, a proto byla požadovaná mezerovitost nižší. Druhá směs pod obrusnou vrstvu byla uvažována jako OTEVŘENÁ. Obsah pojiva do 9% s maximální velikostí zrna do 8 mm a s mezerovitostí směsi 4-5%. Směs byla koncipována zejména s ohledem na vyšší odolnost proti tvorbě trvalých deformací.

První hlavní zkouškou, která byla provedena na navržených směsích, byla zkouška odolnost vůči trvalým deformacím. Tato zkouška probíhala při teplotě 50°C. To je rozdíl oproti TP147, kde se uvádí teplota 40 °C. Při této zkoušce se očekávalo, že zavřené směsi dosáhnou horšího výsledku než směsi otevřené. Tento předpoklad se potvrdil pouze z poloviny, protože zavřená směs z RMB dosáhla srovnatelného výsledku se směsí otevřenou. Nejhorše dopadla zavřená směs s pojivem RM+, kde směs nevyhověla ani na jeden požadavek dle TP 147.

Druhá hlavní zkouška, která byla na směsích provedena, byla zkouška relaxace. Pro tuto zkoušku musela být nejprve provedena zkouška pevnosti v tahu za ohybu, díky které jsme mohli provést samotnou zkoušku relaxace. U této zkoušky se očekávaly lepší výsledky pro zavřené směsi. Tento předpoklad se naplnil pro zavřenou směs s pojivem RMB i RM+, zejména směs s RM+ dosahovala výborných výsledků. Je zde nutno říci, že z důvodů uvedených v kapitole 4.5.4. pod tabulkou 26, nelze brát výsledky na směsi s RM+ jako vypovídající.

Třetí zkouška provedená na směsích, byla zkouška šíření trhlin na půlválcovém tělese. Tato zkouška nám měla názorně dokázat či vyvrátit odhady o vrstvách SAL. Očekávalo se, že zavřené směsi prokážou lepší výsledky, než otevřené směsi. Výsledek je ale diskutabilní. Z výsledků není zcela patrné, která směs je lepší. Výsledky u směsi s RM+ jsou nejlepší, ale s porovnáním s otevřenou směsí a jejími výsledky nelze zcela říci, která směs je lepší než druhá. V porovnání s bakalářskou prací Bc. Václava Petříčka dosahují výsledky na vrstvách SAL stejných nebo spíše horších hodnot než na vrstvách ACO 11+ a AC11 DS. V této zkoušce nejhůře dopadla směs RMB zavřená.

Čtvrtá zkouška byla zkouška nízkoteplotních charakteristik. Výsledky této zkoušky měly jednoznačně vycházet ve prospěch zavřených směsí. Tento předpoklad se jednoznačně potvrdil. Obě směsi, jak RM+ tak i RMB zavřená, vyšly z této zkoušky nejlépe. Zejména pak směs s pojivem RM+ prokázala výborné výsledky a v této zkoušce dopadla nejlépe. Všechna tělesa se porušila lomem.

Poslední zkouškou na vrstvách SAL byla experimentální metoda, díky které bychom mohli lépe říci, která směs je lepší z hlediska únavy a šíření trhlin. Bohužel tato zkouška nebyla dokončena a její výsledky není možné v rozumné míře vyhodnotit. Zkoušku lze ještě modifikovat navrženým způsobem dle kapitoly 4.4.6.3. a zkusit tuto zkoušku znova za nově navržených podmínek.

Na otázku, která směs je nejlepší, není jednoznačná odpověď. Vzhledem k výsledkům zkoušek můžou být použity do konstrukce vozovky všechny navržené směsi, ale mělo by se přihlédnout ke klimatickým podmínkám. Do vyšších nadmořských výšek se mohou umístit všechny směsi, zejména pak směs RM+ zavřená. Ovšem do nízkých nadmořských výšek s vysokou teplotou nedoporučuji používat zavřenou směs RM+, která nevyhověla na trvalé deformace. Dle mého názoru je nejuniverzálnější směs RMB zavřená.

V mé diplomové práci byly provedeny návrhy a vybrané zkoušky na vrstvách SAL. Tyto výsledky mohou být použity při dalších návrzích vrstev SAL, nebo jejich použití do konstrukcí vozovky. Výsledky mohou být dále optimalizovány a zpřesňovány. Výsledky prokázaly, že vrstvu SAL je možné použít do nově budované konstrukce vozovky pod obrusnou nebo ložní vrstvu, nebo užít vrstvu při rekonstrukcích. Vzhledem k situaci na Českých silnicích by tato diplomová práce mohla sloužit jako další možnost rekonstrukce cementobetonových i asfaltových krytů, kde vrstva SAL prokáže své výhody.

## 6. Seznam použité literatury:

### 6.1. Seznam použitých norem a předpisů

- [1] TP 147: Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky
- [3] ČSN EN 933-1+A1. Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – síťový rozbor. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [4] ČSN EN 1426. Stanovení penetrace jehlou. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [5] ČSN EN 1427. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [6] ČSN EN 13302. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [7] ČSN EN 12697-35+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsi. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [8] ČSN EN 12697-30+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [9] ČSN EN 12697-33+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [10] ČSN EN 12697-5+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [11] ČSN EN 12697-6+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa. Praha: Český normalizační institut, 2007.



- [12] ČSN EN 12697-8. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [13] ČSN EN 12697-22+A1. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 22: Zkouška pojiždění kolem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [14] ČSN EN 12697-23. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [15] TP 151. Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT). Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2010. Příloha 1
- [16] ČSN EN 12697- 44. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese
- [17] ČSN EN 12697-46. Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [18] ČSN EN 12697-24. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 24: Odolnost vůči únavě. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2012.

## **6.2. Další použité zdroje:**

- 1) Návrh a posouzení směsi pro asfaltové Vrstvy se zvýšenou odolností proti Šíření trhlin (SAL) – Diplomová práce Bc. Pavel Coufalík 2012/2013
- 2) [2] DAŠEK, Ondřej. Gumoasfalt: Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem. Brno. Prezentace. VUT v Brně, Fakulta stavební.
- 3) Analýza laboratorní zkoušky "šíření Trhliny ohybem na půlválcovém Zkušebním tělese" – Bakalářská práce, Vašek Petříček 2011/2012
- 4) [18] Fotografie firmy Consultest s.r.o – Příčné trhliny, dostupné na:  
<http://www.consultest.cz/vzorove-poruchy-netuhych-vozovek>

## 7. Seznam tabulek, obrázků a grafů:

### 7.1. Seznam tabulek:

Tabulka 1: zrnitost kameniva frakce 0-4 z kamenolomu Luleč – vzorek 1 .....	- 22 -
Tabulka 2: zrnitost kameniva frakce 0-4 z kamenolomu Luleč – vzorek 2.....	- 23 -
Tabulka 3: zrnitost kameniva frakce 0-4 z kamenolomu Luleč – průměr .....	- 24 -
Tabulka 4: zrnitost kameniva frakce 2-4 z kamenolomu Luleč – průměr .....	- 25 -
Tabulka 5: zrnitost kameniva frakce 4-8 z kamenolomu Luleč – průměr .....	- 26 -
Tabulka 6: zrnitost fileru z lokality Mokrá – průměr .....	- 27 -
Tabulka 7: Maximální hodnota odlišnosti výsledků penetrace jehlou, Zdroj: ČSN EN 1426 .....	- 29 -
Tabulka 8: Výsledná penetrace pojiva RM+ .....	- 30 -
Tabulka 9: Výsledná penetrace pojiva OPA .....	- 31 -
Tabulka 10: Výsledná penetrace pojiva OMV 50/70 .....	- 31 -
Tabulka 11: Výsledná penetrace pojiva RMB .....	- 31 -
Tabulka 12: První návrh asfaltové směsi s pojivem RM+ .....	- 39 -
Tabulka 13: Druhý návrh asfaltové směsi s pojivem RM+ .....	- 40 -
Tabulka 14: Třetí návrh asfaltové směsi s pojivem RM+ .....	- 41 -
Tabulka 15: Čtvrtý návrh asfaltové směsi s pojivem RM+ .....	- 41 -
Tabulka 15: Pátý návrh asfaltové směsi s pojivem RM+ .....	- 42 -
Tabulka 16: První návrh asfaltové směsi s pojivem RMB .....	- 43 -
Tabulka 17: Druhý návrh asfaltové směsi s pojivem RMB.....	- 43 -
Tabulka 18: Pátý návrh asfaltové směsi s pojivem RMB.....	- 45 -
Tabulka 19: Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost a výsledná mezerovitost finální zavřené směsi s RM+ č. 5 .....	- 69 -
Tabulka 20: Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost a výsledná mezerovitost finální zavřené směsi s RMB č. 1 .....	- 69 -
Tabulka 21: Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost a výsledná mezerovitost finální otevřené směsi s RMB č. 2 .....	- 70 -
Tabulka 22: Hloubky vyjetých kolejí u jednotlivých desek .....	- 71 -
Tabulka 23: Vyhodnocení všech finálních směsí (desek) na trvalé deformace.....	- 72 -
Tabulka 24: Výsledky ze zkoušení těles v tahu za ohybu .....	- 74 -
Tabulka 25: Souhrnné výsledky relaxací.....	- 75 -
Tabulka 26: Další požadované vlastnosti relaxací asfaltových směsí .....	- 76 -
Tabulka 27: Výsledky půlválcového tělesa směsi RM+ .....	- 78 -
Tabulka 28: Výsledky půlválcového tělesa směsi RMB zavřené.....	- 79 -
Tabulka 29: Výsledky půlválcového tělesa směsi RMB otevřené .....	- 79 -
Tabulka 30: Výsledky nízkoteplotních vlastností směsi RM+ .....	- 80 -
Tabulka 31: Výsledky nízkoteplotních vlastností směsi RMB zavřené .....	- 80 -

Tabulka 32: Výsledky nízkoteplotních vlastností směsi RMB otevřená .....	- 81 -
Tabulka 33: Souhrnné výsledky na optimalizovaných směsích .....	- 83 -

## 7.2. Seznam obrázků:

Obrázek 1 a 2: Příčné trhliny v konstrukci vozovky <sup>[19]</sup> .....	- 15 -
Obrázek 3 a 4: Odebírání kameniva .....	- 16 -
Obrázek 5: Mísící zařízení Reimo pro míchání gumoasfaltu na obalovnách, Zdroj: Ondřej Dašek .....	- 17 -
Obrázek 6: Mísící zařízení G-Asfalt pro míchání gumoasfaltu na obalovnách, Zdroj: Ondřej Dašek .....	- 18 -
Obrázek 7: Praní frakce kameniva .....	- 19 -
Obrázek 8: Prosévání kameniva .....	- 20 -
Obrázek 9: Penetrační jehla, Zdroj: Dip. Prác. Pavel Coufalík .....	- 28 -
Obrázek 10: připravené penetrační misky .....	- 29 -
Obrázek 11: Probíhající zkouška penetrace na přístroji v laboratoři .....	- 30 -
Obrázek 12: Nalité kroužky z pojiva OMV 50/70 a RM+ .....	- 34 -
Obrázek 13: Výsledek zkoušky na pojivu OMV 50/70 .....	- 34 -
Obrázek 14: Výsledná fotka při protažení pojiva OMV 50/70 .....	- 35 -
Obrázek 15: Výsledné protažení vzorků z pojiva OP .....	- 35 -
Obrázek 16: rotační vřetenový viskozimetr s nádobkou a rotačním vřetenem, Zdroj: diplomová práce Pavel Coufalík .....	- 36 -
Obrázek 17: Měření viskozity gumoasfaltu pomocí rotačního viskozimetru, Zdroj: Ondřej Dašek .....	- 37 -
Obrázek 17: Laboratorní míchačka, Zdroj: Diplomová práce Pavel Coufalík .....	- 46 -
Obrázek 18: Příklad plechovky s gumoasfaltem RM+ .....	- 47 -
Obrázek 19: Rázový zhutňovač, Zdroj Pavel Coufalík .....	- 48 -
Obrázek 20: Zhutňovač desek .....	- 49 -
Obrázek 22: Desky po zkoušce pojíždění kolem .....	- 55 -
Obrázek 23: Čelisti s připraveným vzorkem, Zdroj: Pavel Coufalík .....	- 57 -
Obrázek 24: Chlazení vzorků před umístěním do čelistí .....	- 57 -
Obrázek 25: Připravená ledová drť .....	- 58 -
Obrázek 26: Kalibrování zkušebního zařízení .....	- 59 -
Obrázek 27: Těleso ihned po uložení do zkušebního zařízení .....	- 61 -
Obrázek 29: Uložení tělesa do požadované polohy, Zdroj: ČSN EN 12697-44 .....	- 62 -
Obrázek 30: Podstata zkoušky TSRST .....	- 64 -
Obrázek 31+32: Tělesa před a po zkoušce nízkoteplotních vlastností .....	- 66 -
Obrázek 33: Směs RM+ po zkoušce trvalých deformací .....	- 73 -
Obrázek 34: Levá deska RM+ po zkoušce trvalých deformací .....	- 73 -

Obrázek 35: Vzorky po zkoušce v tahu za ohybu .....	- 74 -
Obrázek 36+37: Zobrazené tělesa RM+ vzorek 4 a RMBz vzorek 3 po zkoušce proti šíření trhlin .....	- 79 -
Obrázek 38+39: Příklad tělesa vyjmutého ze zařízení po proběhlé zkoušce nízkoteplotních vlastností .....	- 81 -
Obrázek 40: Příklad připravených těles na experimentální zkoušku, která nebyla z časových důvodů vyzkoušena .....	- 82 -

### 7.3. Seznam grafů:

Graf 7: Zrnitostní složení návrhu č. 1. ....	- 40 -
Graf 8: Zrnitostní složení návrhu č. 2. ....	- 40 -
Graf 8: Zrnitostní složení návrhu č. 3. ....	- 41 -
Graf 9: Zrnitostní složení návrhu č. 4. ....	- 42 -
Graf 10: Zrnitostní složení návrhu č. 5. ....	- 42 -
Graf 11: Zrnitostní složení návrhu č. 1. ....	- 43 -
Graf 12: Zrnitostní složení návrhu č. 2. ....	- 44 -
Graf 13: Zrnitostní složení návrhu č. 2. ....	- 45 -
Graf 14: Závislost hloubky vyjetých kolejí na počtu cyklů .....	- 72 -
Graf 15: Relaxace směsi RM+ .....	- 77 -
Graf 16: Relaxace směsi RMB zavřená .....	- 77 -
Graf 16: Relaxace směsi RMB otevřená .....	- 78 -

## 8. Přílohy

### 8.1. Sítové rozbor

#### 8.1.1. Kamenivo 2-4:

#### Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic	2-4 Vzorek č 1
Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):	531,4
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):	522,4
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,0
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ (%)	1,7

#### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok síť	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	94,0	18	18	82
2	391,3	74	91	9
1	20,3	4	95	5
0,5	6,7	1	97	3
0,25	4,1	1	97	3
0,125	3,2	1	98	2
0,063	2,2	0,4	98,3	1,7
Dno síťový rozbor P	0,0	1,7	100,0	0,0
Dno jemné částice (M1 - M2)	9,0			
Celkem	530,8			

## Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

### 1. Stanovení obsahu jemných částic

### 2-4 Vzorek č 2

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):	525,9
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):	517,4
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,1
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100(\%)$	1,6

### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	103,1	20	20	80
2	387,1	74	93	7
1	15,5	3	96	4
0,5	4,0	1	97	3
0,25	2,7	1	97	3
0,125	2,7	1	98	2
0,063	2,1	0,4	98,4	1,6
Dno	sítový rozbor P	1,6	100,0	0,0
Dno	jemné částice (M1 - M2)			
	0,1			
	8,5			
Celkem	525,8			

### 8.1.2. Kamenivo 4-8:

#### Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

##### 1. Stanovení obsahu jemných částic

##### 4-8 Vzorek č 1

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):	605,1
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):	586,8
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,3
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ (%)	3,1

##### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok síť	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	23,5	4	4	96
5,6	0,0	0	4	96
4	480,6	79	83	17
2	67,3	11	94	6
1	5,4	1	95	5
0,5	1,9	0	96	4
0,25	1,5	0	96	4
0,125	2,6	0	96	4
0,063	4,1	0,7	96,9	3,1
Dno síťový rozbor P	0,3	3,1	100,0	0,0
Dno jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	18,3			
Celkem	605,5			



## Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

### 1. Stanovení obsahu jemných částic

### 4-8 Vzorek č 2

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):	606,8
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):	591,8
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,2
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100(\%)$	<b>2,5</b>

### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok síť	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	16,7	3	3	97
5,6	0,0	0	3	97
4	492,4	81	84	16
2	69,5	11	95	5
1	4,5	1	96	4
0,5	1,1	0	96	4
0,25	1,1	0	97	3
0,125	2,1	0	97	3
0,063	3,4	0,6	97,5	2,5
Dno síťový rozbor P	0,2	2,5	100,0	0,0
Dno jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	15,0			
Celkem	606,0			

### 8.1.3. Filer:

## Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

#### 1. Stanovení obsahu jemných částic

#### FILER Vzorek č 1

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ ):	274,8
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ ):	76,7
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	2,4
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ (%)	<b>73,0</b>

#### 2. Stanovení zrnitosti:

Vel.ok síť	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	0,0	0	0	100
2	0,0	0	0	100
1	0,0	0	0	100
0,5	0,0	0	0	100
0,25	1,2	0	0	100
0,125	25,4	9	10	90
0,063	46,8	17,1	26,8	73,2
Dno síťový rozbor P	2,4	73,2	100,0	0,0
Dno jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	198,1			
Celkem	273,9			

## Stanovení obsahu jemných částic Stanovení zrnitosti - síťový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic			FILER Vzorek č 2		
Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M <sub>1</sub> ):		248,6			
Hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063mm (M <sub>2</sub> ):		70,8			
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):		2,9			
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100(\%)$		72,7			
2. Stanovení zrnitosti:					
Vel.ok sít		Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]		[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125		0,0	0	0	100
90		0,0	0	0	100
63		0,0	0	0	100
45		0,0	0	0	100
31,5		0,0	0	0	100
22,4		0,0	0	0	100
16		0,0	0	0	100
11,2		0,0	0	0	100
8		0,0	0	0	100
5,6		0,0	0	0	100
4		0,0	0	0	100
2		0,0	0	0	100
1		0,0	0	0	100
0,5		0,0	0	0	100
0,25		1,1	0	0	100
0,125		23,2	9	10	90
0,063		43,3	17,4	27,2	72,8
Dno	síťový rozbor P	2,9	72,8	100,0	0,0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	177,8			
Celkem		248,3			

## 8.2. Návrhy směsí:

### 8.2.1. Zavřená směs RM+:

**Obalovna:**

**Objednatel:** SAL

**Směs:** SAL

**Návrh:** 5

**Návrh asfaltové směsi:**

SAL

**Teplota míchání:** 170

**Druh asfaltu:**

Mexphalte RM+

**Teplota hutnění:** 160

**Hutnění:**

2 x 50

**Čára zrnitosti**  $D_{max} =$  4

**Studené dávkování :**

	%	6000
<b>Moučka</b>	6,5	<b>390,0</b>
<b>0-4 Luleč</b>	48	<b>2880,0</b>
<b>2-4 Luleč</b>	45,5	<b>2730,0</b>
<b>8-11</b>	0	0,0
<b>8-16</b>	0	0,0
<b>11-22</b>	0	0,0
<b>Suma</b>	100	6000

**Síto: Propad: Fuller: Rozdíl:**

<b>0,063</b>	7,2	12,5	-5,3
<b>0,125</b>	11	18	-7
<b>0,250</b>	17	25	-8
<b>0,5</b>	24	35	-12
<b>1</b>	31	50	-19
<b>2</b>	44	71	-27
<b>4</b>	89	100	-12
<b>5,6</b>	100	118	-18
<b>8</b>	100	141	-41
<b>11</b>	100	166	-66
<b>16</b>	100	200	-100
<b>22</b>	100	235	-135

**3 Marshally dle EN**

**Navážka na 1 Marshalla dle EN = 1200 g**

**Malý pyknometr v rozpuštědle dle ČSN 2x**

**Dávkování asfaltu (%):**

11

**Váha v gramech:**

**742**

## 8.2.2. Zavřená směs RMB:

**Objednatel:** SAL  
**Směs:** SAL  
**Návrh:** 6 - RmB zavř.

**Návrh asfaltové směsi:** SAL  
**Druh asfaltu:** RmB  
**Hutnění:** 2 x 50

**Teplota míchání:** 170  
**Teplota hutnění:** 160

**Čára zrnitosti**  $D_{max}= 4$

**Studené dávkování :**

	%	6000
<b>Moučka</b>	7,5	<b>450,0</b>
<b>0-4 Luleč</b>	49	<b>2940,0</b>
<b>2-4 Luleč</b>	43,5	<b>2610,0</b>
<b>8-11</b>	0	0,0
<b>8-16</b>	0	0,0
<b>11-22</b>	0	0,0
<b>Suma</b>	100	6000

**Síto: Propad: Fuller: Rozdíl:**

<b>0,063</b>	8,0	12,5	-4,6
<b>0,125</b>	12	18	-6
<b>0,250</b>	18	25	-7
<b>0,5</b>	25	35	-10
<b>1</b>	33	50	-17
<b>2</b>	45	71	-25
<b>4</b>	89	100	-11
<b>5,6</b>	100	118	-18
<b>8</b>	100	141	-41
<b>11</b>	100	166	-66
<b>16</b>	100	200	-100
<b>22</b>	100	235	-135

**3 Marshally dle EN**

**Navážka na 1 Marshalla dle EN = 1200 g**

**Malý pyknometr v rozpuštědle dle ČSN 2x**

**Dávkování asfaltu (%):**  
**Váha v gramech:**

**11**  
**742**

### 8.2.3. Otevřená směs RMB:

## Obalovna:

**Objednatel: SAL**

**Směs:** SAL

**Návrh: 2 - RmB otevř.**

**Návrh asfaltové směsi: SAL**

**Teplota míchaní:** 170

**Druh asfaltu:** RmB

**Teplota hutnění: 160**

**Hutnění:** 2 x 50

Čára zrnitosti  $D_{max} = 8$

**Studené dávkování :**

**Síto:      Propad:    Fuller:    Rozdíl:**

	%	6000
Moučka	5	300,0
0-4 Luleč	36	2160,0
4-8 Luleč	59	3540,0
8-11	0	0,0
8-16	0	0,0
11-22	0	0,0
Suma	100	6000

<b>0,063</b>	6,6	8,9	-2,3
<b>0,125</b>	9	13	-3
<b>0,250</b>	14	18	-3
<b>0,5</b>	19	25	-6
<b>1</b>	25	35	-11
<b>2</b>	34	50	-16
<b>4</b>	49	71	-22
<b>5,6</b>	92	84	8
<b>8</b>	98	100	-2
<b>11</b>	100	117	-17
<b>16</b>	100	141	-41
<b>22</b>	100	166	-66

### 3 Marshally die EN

**Navážka na 1 Marshalla dle EN = 1200 g**

### Malý pyknometr v rozpuštědle dle ČSN 2x

**Dávkování asfaltu (%):**

9

**Váha v gramech:**

593

## 8.3. Protokoly zhutněných desek:

### 8.3.1. Desky ze zavřené směsi RM+:

Míra zhutnění desky							
Označení desky: <b>SAL 4, RM+ zavřená 3cm</b>							
Množství pojiva: <b>11 %</b>			Teplota míchání směsi: <b>170 °C</b>				
Použití desky: <b>deska na trvalé deformace 1. deska</b>			Teplota hutnění desky: <b>160 °C</b>				
Rozměry formy:							
šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem			
m	m	m	m	m <sup>3</sup>			
0,261	0,322	0,03	0,0008	0,002454			
Navážka na desku:							
žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva		
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g		
2232,0	0	5477	11,0	603	4875		
frakce		původ	podíly	podíly	hmotnost		
			%	-	g		
filer		Mokrá	6,5	0,065	317		
0-4		Luleč	48	0,48	2340		
2-4		Luleč	45,5	0,455	2218		
suma			100	1	4875		
Stanovení objemové hmotnosti z vážení:							
suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
5445	3010	5449	2232,5	2232,0	100,0	2283,8	2,2
Ztráta směsi:							
hm. Před mícháním		hm. Po hutnění		Ztráta [g]	Ztráta [%]		
5477		5445		32	0,59		



### Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 4, RM+ zavřená 3cm**

Množství pojiva: **11 %**

Teplota míchání směsi: **170 °C**

Použití desky: **deska na trvalé deformace 2. deska**

Teplota hutnění desky: **160 °C**

#### Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,03	0,0008	0,002454

#### Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2232,0	0	5477	11,0	603	4875

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	6,5	0,065	317
0-4	Luleč	48	0,48	2340
2-4	Luleč	45,5	0,455	2218
suma		100	1	4875

#### Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
5445	3010	5449	2232,5	2232,0	100,0	2283,8	2,2

#### Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
5477	5445	32	0,59

## Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 4, RM+ zavřená**Množství pojiva: **11 %**Teplota míchání směsi: **170 °C**Použití desky: **trámečky na pevnost za ohybu a relaxaci**Teplota hutnění desky: **160 °C**

## Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,04	0,0008	0,003294

## Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2232,0	0	7353	11,0	809	6544

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrý	6,5	0,065	425
0-4	Luleč	48	0,48	3141
2-4	Luleč	45,5	0,455	2978
suma		100	1	6544

## Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
7320	4064	7326	2244,0	2232,0	100,5	2283,8	1,7

## Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
7353	7320	33	0,45

### Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 4, RM+ zavřená - 5cm**

Množství pojiva: **11 %**

Teplota míchání směsi: **170 °C**

Použití desky: **deska na půlválcová tělesa**

Teplota hutnění desky: **160 °C**

#### Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,05	0,0008	0,004135

#### Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2232,0	0	9229	11,0	1015	8214

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	6,5	0,065	534
0-4	Luleč	48	0,48	3943
2-4	Luleč	45,5	0,455	3737
suma		100	1	8214

#### Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
9199	5107	9205	2244,8	2232,0	100,6	2283,8	1,7

#### Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
9229	9199	30	0,33

### Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 4, RM+ zavřená - 5cm**

Množství pojiva: **11 %**

Teplota míchání směsi: **170 °C**

Použití desky: **deska na nízkoteplotní vlastnosti**

Teplota hutnění desky: **160 °C**

#### Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,05	0,0008	0,004135

#### Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2232,0	0	9229	11,0	1015	8214

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	6,5	0,065	534
0-4	Luleč	48	0,48	3943
2-4	Luleč	45,5	0,455	3737
suma		100	1	8214

#### Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
9175	5087	9180	2241,6	2232,0	100,4	2283,8	1,8

#### Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
9209	9175	34	0,37

### 8.3.2. Desky ze zavřené směsi RMB:

Míra zhutnění desky							
Označení desky: <b>SAL 1, RMB zavřená - 3cm</b>							
Množství pojiva: <b>11 %</b>			Teplota míchání směsi: <b>170 °C</b>				
Použití desky: <b>deska na trvalé deformace č. 1</b>			Teplota hutnění desky: <b>160 °C</b>				
Rozměry formy:							
šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem			
m	m	m	m	m <sup>3</sup>			
0,261	0,322	0,03	0,0008	0,002454			
Navážka na desku:							
žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva		
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g		
2222,0	0	5453	11,0	600	4853		
frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost			
		%	-	g			
filer	Mokrá	7,5	0,075	364			
0-4	Luleč	49	0,49	2378			
2-4	Luleč	43,5	0,435	2111			
suma		100	1	4853			
Stanovení objemové hmotnosti z vážení:							
suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
5416	2985	5425	2219,7	2222,0	99,9	2287,6	3,0
Ztráta směsi:							
hm. Před mícháním		hm. Po hutnění		Ztráta [g]	Ztráta [%]		
5453		5416		37	0,68		

### Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 1, RMB zavřená - 3cm**

Množství pojiva: **11 %**

Teplota míchání směsi: **170 °C**

Použití desky: **deska na trvalé deformace č. 2**

Teplota hutnění desky: **160 °C**

#### Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,03	0,0008	0,002454

#### Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2222,0	0	5453	11,0	600	4853

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	7,5	0,075	364
0-4	Luleč	49	0,49	2378
2-4	Luleč	43,5	0,435	2111
suma		100	1	4853

#### Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
5441	3013	5448	2234,5	2222,0	100,6	2287,6	2,3

#### Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
5453	5441	12	0,22

### Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 1, RMB zavřená - 4cm**

Množství pojiva: **11 %**

Teplota míchání směsi: **170 °C**

Použití desky: **trámečky na pevnost za ohybu a relaxaci**

Teplota hutnění desky: **160 °C**

#### Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,04	0,0008	0,003294

#### Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2222,0	0	7320	11,0	805	6515

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	7,5	0,075	489
0-4	Luleč	49	0,49	3192
2-4	Luleč	43,5	0,435	2834
suma		100	1	6515

#### Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
7307	4051	7316	2238,0	2222,0	100,7	2287,6	2,2

#### Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
7320	7307	13	0,18



### Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 1, RMB zavřená - 5cm**

Množství pojiva: **11 %**

Teplota míchání směsi: **170 °C**

Použití desky: **deska na půlválcová tělesa**

Teplota hutnění desky: **160 °C**

#### Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,05	0,0008	0,004135

#### Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2222,0	0	9188	11,0	1011	8177

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	7,5	0,075	613
0-4	Luleč	49	0,49	4007
2-4	Luleč	43,5	0,435	3557
suma		100	1	8177

#### Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
9127	5053	9140	2233,2	2222,0	100,5	2287,6	2,4

#### Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
9168	9127	41	0,44

### Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 1, RMB zavřená - 5cm**

Množství pojiva: **11 %**

Teplota míchání směsi: **170 °C**

Použití desky: **deska na nízkoteplotní vlastnosti**

Teplota hutnění desky: **160 °C**

#### Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,05	0,0008	0,004135

#### Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2222,0	0	9188	11,0	1011	8177

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	7,5	0,075	613
0-4	Luleč	49	0,49	4007
2-4	Luleč	43,5	0,435	3557
suma		100	1	8177

#### Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
9139	5068	9152	2237,8	2222,0	100,7	2287,6	2,2

#### Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
9188	9139	49	0,53

### 8.3.3. Desky z otevřené směsi RMB:

Míra zhutnění desky							
Označení desky: SAL 2, RMB otevřená - 3cm							
Množství pojiva: 9 %			Teplota míchání směsi: 170 °C				
Použití desky: první deska na trvalé deformace			Teplota hutnění desky: 160 °C				
Rozměry formy:							
šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem			
m	m	m	m	m³			
0,261	0,322	0,03	0,0008	0,002454			
Navázka na desku:							
žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva		
kg/m³	%	g	%	g	g		
2242,4	-1,8	5404	9,0	486	4917		
frakce					původ		
		podíly	podíly	hmotnost			
		%	-	g			
filer		Mokrá	5	0,05			
0-4		Luleč	36	0,36			
4-8		Luleč	59	0,59			
suma		100	1	4917			
Stanovení objemové hmotnosti z vážení:							
suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m³	kg/m³	%	kg/m³	%
5388	3004	5409	2240,3	2242,4	99,9	2353,0	4,8
Ztráta směsi:							
hm. Před mícháním		hm. Po hutnění		Ztráta [g]	Ztráta [%]		
5404		5388		16	0,29		

### Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 2, RMB otevřená - 3cm**

Množství pojiva: 9 %

Teplota míchání směsi: **170 °C**

Použití desky: **druhá deska na trvalé deformace**

Teplota hutnění desky: **160 °C**

#### Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,03	0,0008	0,002454

#### Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2242,4	-1,8	5404	9,0	486	4917

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	5	0,05	246
0-4	Luleč	36	0,36	1770
4-8	Luleč	59	0,59	2901
suma		100	1	4917

#### Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
5403	3007	5417	2241,9	2242,4	100,0	2353,0	4,7

#### Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
5404	5403	1	0,01

### Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 2, RMB otevřená - 5cm**

Množství pojiva: 9 %

Teplota míchání směsi: **170 °C**

Použití desky: **deska na půlvalcová tělesa**

Teplota hutnění desky: **160 °C**

#### Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,05	0,0008	0,004135

#### Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2242,4	-1,8	9105	9,0	819	8286

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	5	0,05	414
0-4	Luleč	36	0,36	2983
4-8	Luleč	59	0,59	4888
suma		100	1	8286

#### Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
9069	5053	9089	2247,0	2242,4	100,2	2353,0	4,5

#### Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
9105	9069	36	0,40

### Míra zhutnění desky

Označení desky: **SAL 2, RMB otevřená - 5cm**

Množství pojiva: 9 %

Teplota míchání směsi: **170 °C**

Použití desky: **deska na nízkoteplotní vlastnosti**

Teplota hutnění desky: **160 °C**

#### Rozměry formy:

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,05	0,0008	0,004135

#### Navážka na desku:

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2242,4	-1,8	9105	9,0	819	8286

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	5	0,05	414
0-4	Luleč	36	0,36	2983
4-8	Luleč	59	0,59	4888
suma		100	1	8286

#### Stanovení objemové hmotnosti z vážení:

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovit ost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
9084	5061	9104	2246,8	2242,4	100,2	2353,0	4,5

#### Ztráta směsi:

hm. Před mícháním	hm. Po hutnění	Ztráta [g]	Ztráta [%]
9105	9084	21	0,23

## 8.4. Protokoly ze zkoušky trvalých deformací:

### 8.4.1. Zavřená směs RM+:

Vyjeté koleje						
Deska L: SAL RM+, 11.0% pojiva				Tloušťka desek: 30 mm		
Deska P: SAL RM+, 11.0% pojiva				Teplota hutnění: 160 C°		
				Datum pojíždění: 12.6.2013		
Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota [C°]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]
0	0	50,1	3,36	-1,41	0,00	0,00
250	500	49,9	4,16	-0,97	0,80	0,44
500	1000	50,0	4,31	-0,88	0,95	0,53
750	1500	50,0	4,43	-0,85	1,07	0,56
1000	2000	50,1	4,54	-0,80	1,18	0,61
1250	2500	49,9	4,63	-0,75	1,27	0,66
1500	3000	50,1	4,71	-0,70	1,35	0,71
1750	3500	50,1	4,79	-0,65	1,43	0,76
2000	4000	50,0	4,89	-0,62	1,53	0,79
2250	4500	50,0	4,94	-0,60	1,58	0,81
2500	5000	50,0	5,03	-0,56	1,67	0,85
2750	5500	50,2	5,12	-0,54	1,76	0,87
3000	6000	50,0	5,18	-0,52	1,82	0,89
3250	6500	50,0	5,26	-0,47	1,90	0,94
3500	7000	50,1	5,33	-0,42	1,97	0,99
3750	7500	50,1	5,42	-0,37	2,06	1,04
4000	8000	50,0	5,47	-0,34	2,11	1,07
4250	8500	50,1	5,54	-0,30	2,18	1,11
4500	9000	50,1	5,62	-0,27	2,26	1,14
4750	9500	50,1	5,69	-0,26	2,33	1,15
5000	10000	50,1	5,76	-0,25	2,40	1,16
5250	10500	50,1	5,82	-0,24	2,46	1,17
5500	11000	50,1	5,88	-0,24	2,52	1,17
5750	11500	50,1	5,92	-0,19	2,56	1,22
6000	12000	50,2	5,97	-0,16	2,61	1,25
6250	12500	50,1	6,04	-0,13	2,68	1,28
6500	13000	50,1	6,09	-0,11	2,73	1,30
6750	13500	50,2	6,13	-0,09	2,77	1,32
7000	14000	50,1	6,19	-0,06	2,83	1,35
7250	14500	50,1	6,23	-0,02	2,87	1,39
7500	15000	50,1	6,27	0,04	2,91	1,45
7750	15500	50,1	6,34	0,06	2,98	1,47
8000	16000	50,1	6,38	0,11	3,02	1,52
8250	16500	50,0	6,42	0,13	3,06	1,54
8500	17000	50,1	6,46	0,18	3,10	1,59
8750	17500	50,2	6,50	0,21	3,14	1,62
9000	18000	50,1	6,53	0,24	3,17	1,65
9250	18500	50,1	6,57	0,26	3,21	1,67
9500	19000	50,2	6,63	0,28	3,27	1,69
9750	19500	50,1	6,69	0,30	3,33	1,71
10000	20000	50,2	6,70	0,32	3,34	1,73



### 8.4.2. Zavřená směs RMB:

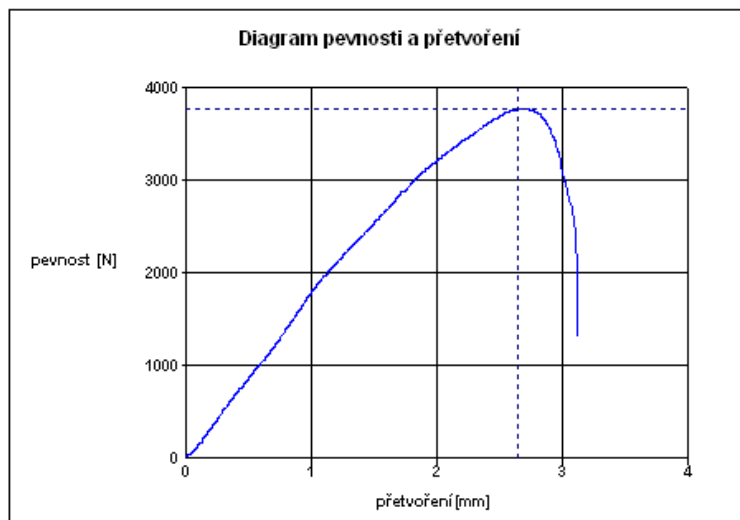
Vyjeté koleje						
Deska L: SAL RMB, 11.0% pojiva			Tloušťka desek: 30 mm			
Deska P:			Teplota hutnění: 160 C°			
			Datum pojíždění: 24.6.2013			
Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota [C°]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]
0	0	50,1	3,35	-1,24	0,00	0,00
250	500	49,9	3,59	-0,96	0,24	0,28
500	1000	50,0	3,67	-0,92	0,32	0,32
750	1500	50,0	3,71	-0,88	0,36	0,36
1000	2000	50,1	3,75	-0,86	0,40	0,38
1250	2500	49,9	3,80	-0,82	0,45	0,42
1500	3000	50,1	3,83	-0,77	0,48	0,47
1750	3500	50,1	3,87	-0,74	0,52	0,50
2000	4000	50,0	3,90	-0,71	0,55	0,53
2250	4500	50,0	3,94	-0,70	0,59	0,54
2500	5000	50,0	3,96	-0,69	0,61	0,55
2750	5500	50,2	3,99	-0,68	0,64	0,56
3000	6000	50,0	4,02	-0,65	0,67	0,59
3250	6500	50,0	4,05	-0,65	0,70	0,59
3500	7000	50,1	4,08	-0,61	0,73	0,63
3750	7500	50,1	4,09	-0,58	0,74	0,66
4000	8000	50,0	4,10	-0,57	0,75	0,67
4250	8500	50,1	4,11	-0,56	0,76	0,68
4500	9000	50,1	4,12	-0,54	0,77	0,70
4750	9500	50,1	4,13	-0,53	0,78	0,71
5000	10000	50,1	4,14	-0,52	0,79	0,72
5250	10500	50,1	4,15	-0,50	0,80	0,74
5500	11000	50,1	4,16	-0,49	0,81	0,75
5750	11500	50,1	4,17	-0,47	0,82	0,77
6000	12000	50,2	4,19	-0,47	0,84	0,77
6250	12500	50,1	4,19	-0,47	0,84	0,77
6500	13000	50,1	4,21	-0,45	0,86	0,79
6750	13500	50,2	4,22	-0,44	0,87	0,80
7000	14000	50,1	4,22	-0,44	0,87	0,80
7250	14500	50,1	4,22	-0,44	0,87	0,80
7500	15000	50,1	4,23	-0,43	0,88	0,81
7750	15500	50,1	4,23	-0,43	0,88	0,81
8000	16000	50,1	4,25	-0,41	0,90	0,83
8250	16500	50,0	4,25	-0,40	0,90	0,84
8500	17000	50,1	4,26	-0,40	0,91	0,84
8750	17500	50,2	4,27	-0,38	0,92	0,86
9000	18000	50,1	4,27	-0,39	0,92	0,85
9250	18500	50,1	4,27	-0,40	0,92	0,84
9500	19000	50,2	4,29	-0,39	0,94	0,85
9750	19500	50,1	4,29	-0,37	0,94	0,87
10000	20000	50,2	4,30	-0,36	0,95	0,88

### 8.4.3. Otevřená směs RMB:

Vyjeté koleje						
Deska L: SAL RMB, 9% pojiva			Tloušťka desek: 30 mm			
Deska P: SAL RMB, 9% pojiva			Teplota hutnění: 160 C°			
			Datum poježdění: 16.7.2013			
Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota [C°]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]
0	0	50,1	3,29	-0,84	0,00	0,00
250	500	49,9	3,67	-0,48	0,38	0,36
500	1000	50,0	3,77	-0,41	0,48	0,43
750	1500	50,0	3,81	-0,35	0,52	0,49
1000	2000	50,1	3,85	-0,32	0,56	0,52
1250	2500	49,9	3,89	-0,30	0,60	0,54
1500	3000	50,1	3,91	-0,27	0,62	0,57
1750	3500	50,1	3,92	-0,24	0,63	0,60
2000	4000	50,0	3,95	-0,21	0,66	0,63
2250	4500	50,0	3,98	-0,18	0,69	0,66
2500	5000	50,0	4,01	-0,16	0,72	0,68
2750	5500	50,2	4,03	-0,15	0,74	0,69
3000	6000	50,0	4,05	-0,13	0,76	0,71
3250	6500	50,0	4,06	-0,12	0,77	0,72
3500	7000	50,1	4,08	-0,11	0,79	0,73
3750	7500	50,1	4,11	-0,08	0,82	0,76
4000	8000	50,0	4,12	-0,06	0,83	0,78
4250	8500	50,1	4,13	-0,05	0,84	0,79
4500	9000	50,1	4,14	-0,04	0,85	0,80
4750	9500	50,1	4,16	-0,03	0,87	0,81
5000	10000	50,1	4,17	-0,02	0,88	0,82
5250	10500	50,1	4,18	-0,01	0,89	0,83
5500	11000	50,1	4,19	0,00	0,90	0,84
5750	11500	50,1	4,20	0,00	0,91	0,84
6000	12000	50,2	4,21	0,01	0,92	0,85
6250	12500	50,1	4,22	0,02	0,93	0,86
6500	13000	50,1	4,23	0,03	0,94	0,87
6750	13500	50,2	4,24	0,03	0,95	0,87
7000	14000	50,1	4,25	0,04	0,96	0,88
7250	14500	50,1	4,27	0,05	0,98	0,89
7500	15000	50,1	4,26	0,07	0,97	0,91
7750	15500	50,1	4,27	0,07	0,98	0,91
8000	16000	50,1	4,27	0,10	0,98	0,94
8250	16500	50,0	4,29	0,11	1,00	0,95
8500	17000	50,1	4,30	0,11	1,01	0,95
8750	17500	50,2	4,31	0,12	1,02	0,96
9000	18000	50,1	4,31	0,13	1,02	0,97
9250	18500	50,1	4,33	0,13	1,04	0,97
9500	19000	50,2	4,33	0,14	1,04	0,98
9750	19500	50,1	4,34	0,14	1,05	0,98
10000	20000	50,2	4,35	0,17	1,06	1,01

## 8.5. Dokumentace ze zkoušky v tahu za ohybu:

### 8.5.1. Směs RM+ zavřená:



datum: 18.6.2013

čas: 26:08:36

číslo vzorku:

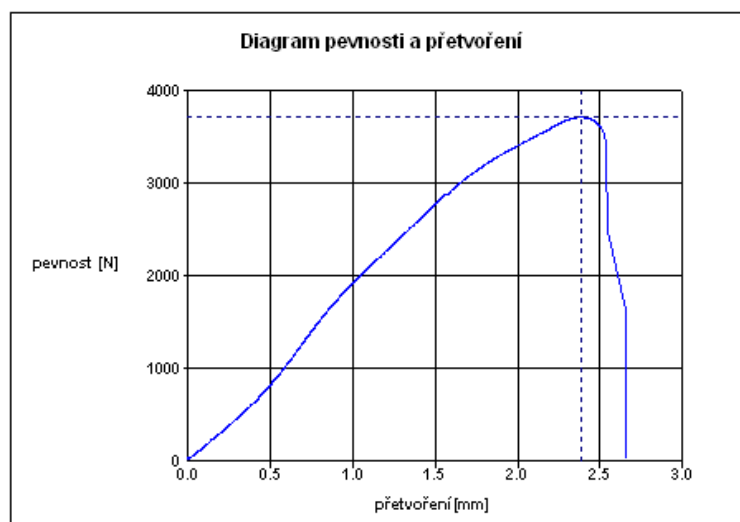
RMB vz. 1 (3)

citlivost pevnosti

3780 N

Bruch-Weg(e):

2,64 mm



datum: 18.6.2013

čas: 26:12:03

číslo vzorku:

RMB vz. 2 (7)

citlivost pevnosti

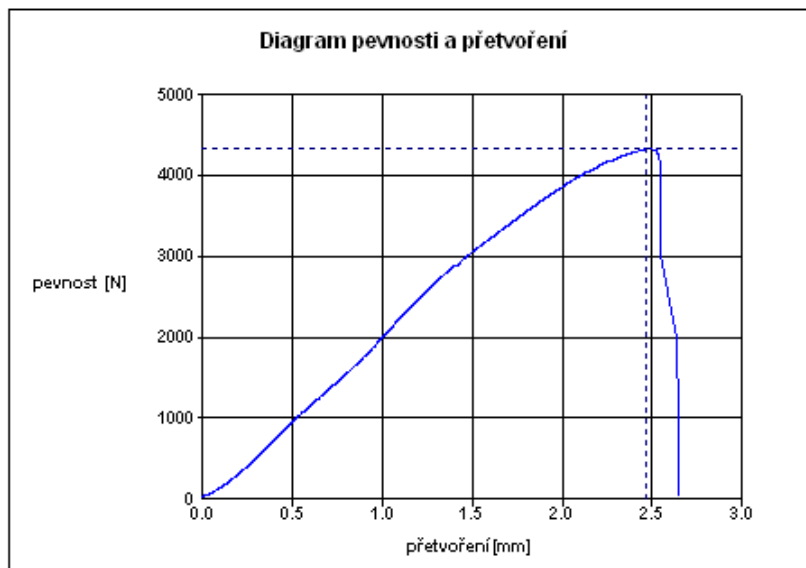
3723 N

Bruch-Weg(e):

2,39 mm

V obrázcích jsou špatně zadány názvy vzorků.

### 8.5.2. Směs RMB zavřená:



datum: 18.6.2013

čas: 26:18:09

číslo vzorku:

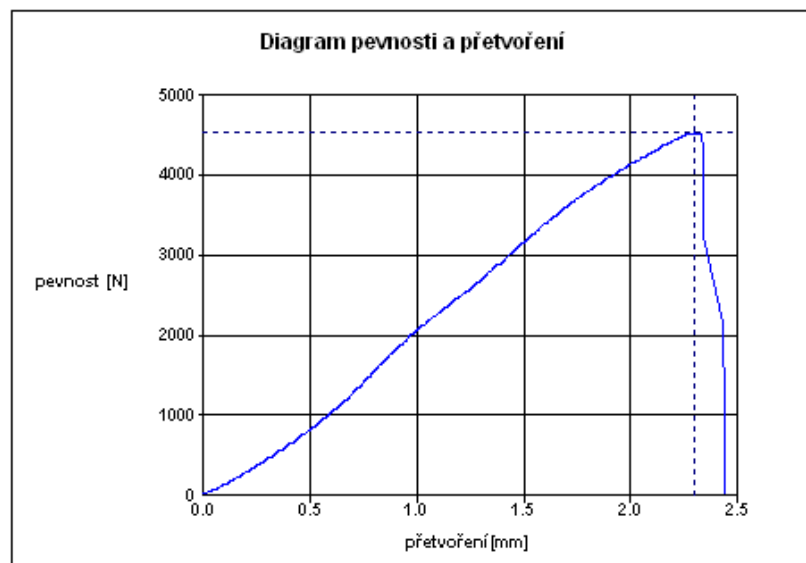
RMB vz. 1 (3)

citlivost pevnosti

4328 N

Bruch-Weg(e):

2,47 mm



datum: 18.6.2013

čas: 26:23:55

číslo vzorku:

RMB vz. 2 (4)

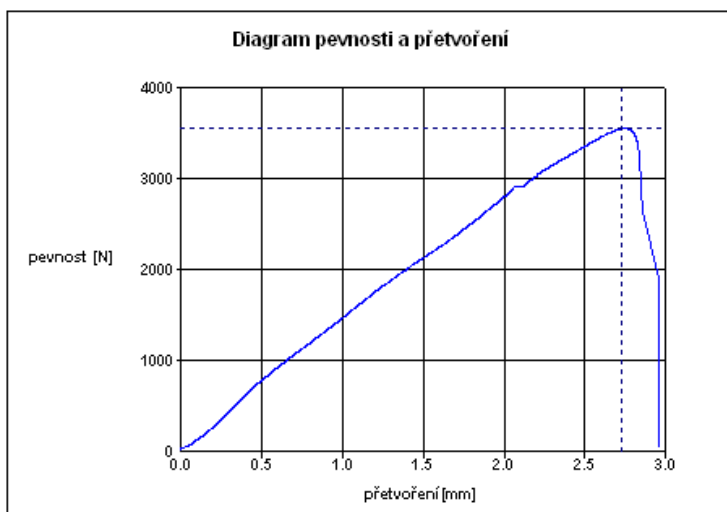
citlivost pevnosti

4531 N

Bruch-Weg(e):

2,3 mm

### 8.5.3. Směs RMB otevřená:



datum: 16.7.2013

čas: 26:49:43

číslo vzorku:

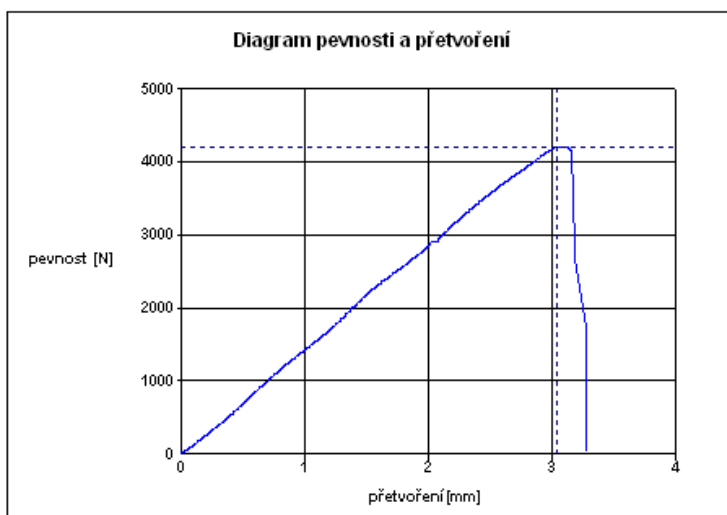
RMB otevř. vz 1

citlivost pevnosti

3558 N

Bruch-Weg(e):

2,73 mm



datum: 16.7.2013

čas: 26:55:18

číslo vzorku:

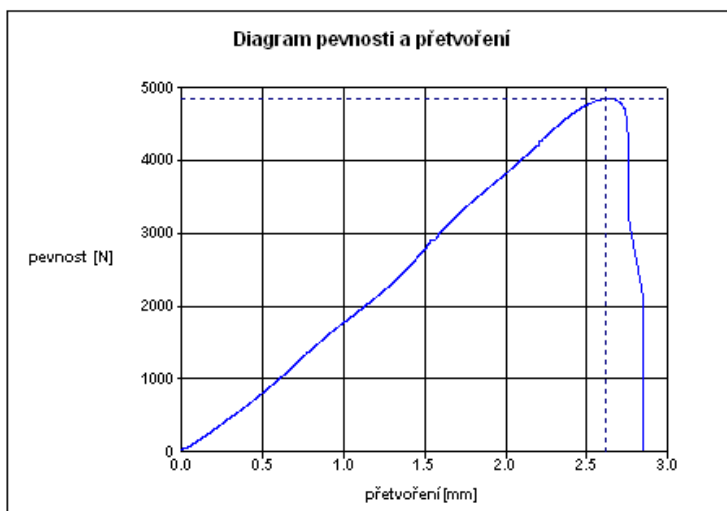
RMB otevř. vz 2

citlivost pevnosti

4207 N

Bruch-Weg(e):

3,03 mm



datum: 16.7.2013

čas: 26:59:51

číslo vzorku:

RMB otevř. vz 3

citlivost pevnosti

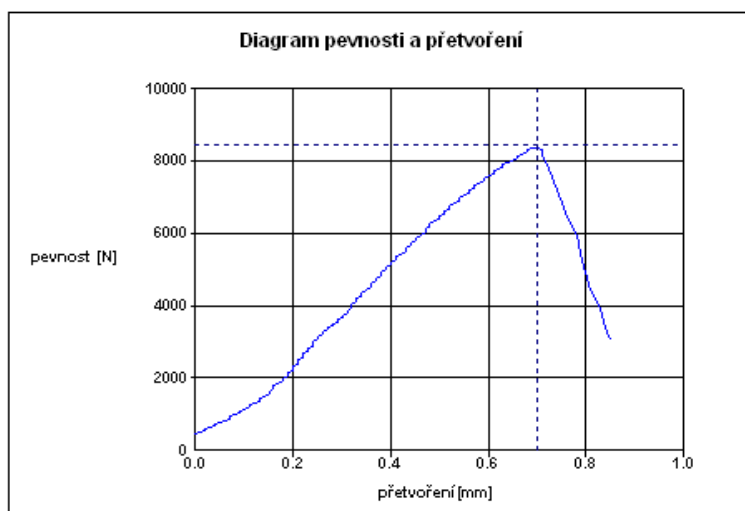
4856 N

Bruch-Weg(e):

2,62 mm

## 8.6. Grafy ze zkoušky šíření trhlin na půlválcovém tělese:

### 8.6.1. Směs RM+ zavřená:



datum: 18.6.2013

čas: 25:34:22

číslo vzorku:

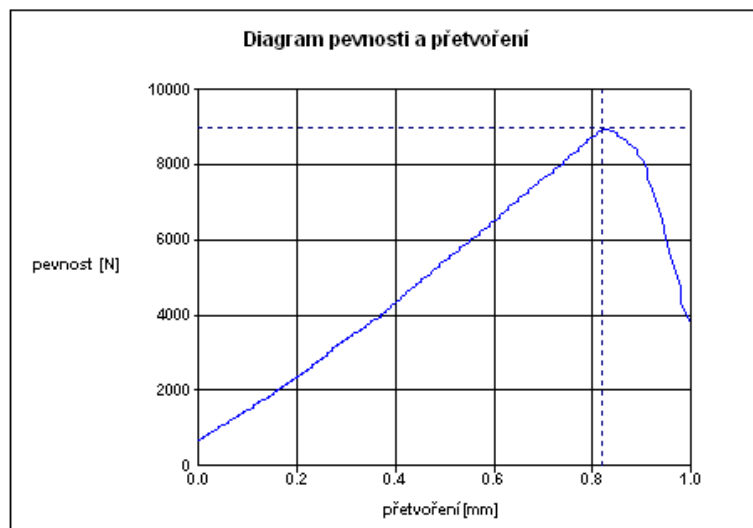
RM+ vz. 1

citlivost pevnosti

8458 N

Bruch-Weg(e):

0,7 mm



datum: 18.6.2013

čas: 25:37:01

číslo vzorku:

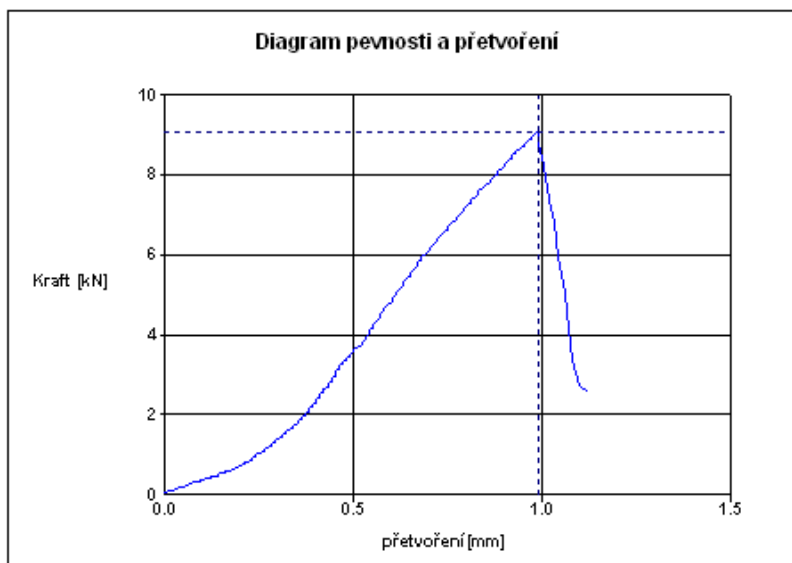
RM+ vz. 2

citlivost pevnosti

8987 N

Bruch-Weg(e):

0,82 mm



datum: 18.6.2013

čas: 25:39:35

číslo vzorku:

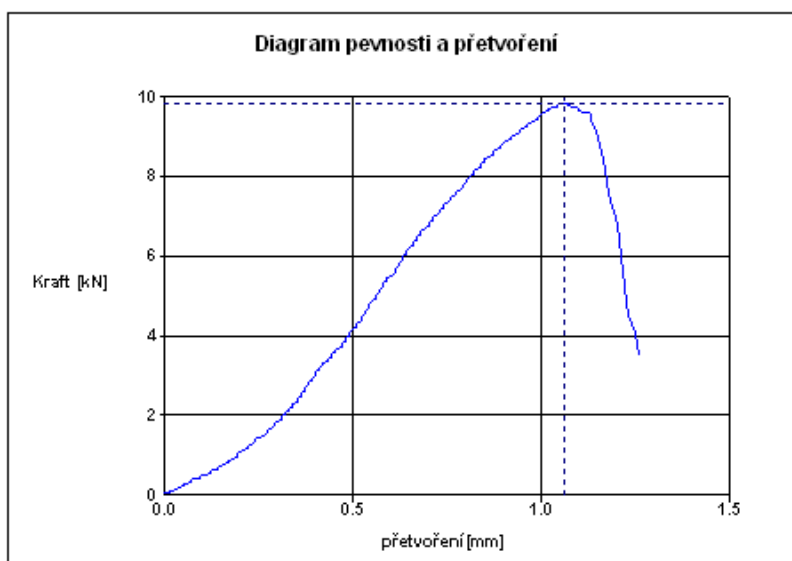
RM+ vz. 3

citlivost pevnosti

9,089 kN

Bruch-Weg(e):

0,99 mm



datum: 18.6.2013

čas: 25:42:17

číslo vzorku:

RM+ vz. 4

citlivost pevnosti

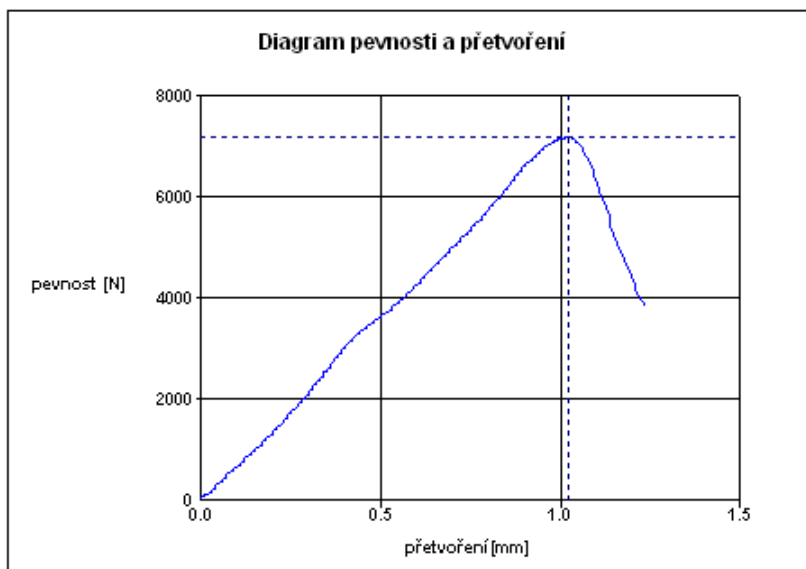
9,832 kN

Bruch-Weg(e):

1,06 mm



### 8.6.2. Směs RMB zavřená:



datum: 18.6.2013

čas: 25:21:15

číslo vzorku:

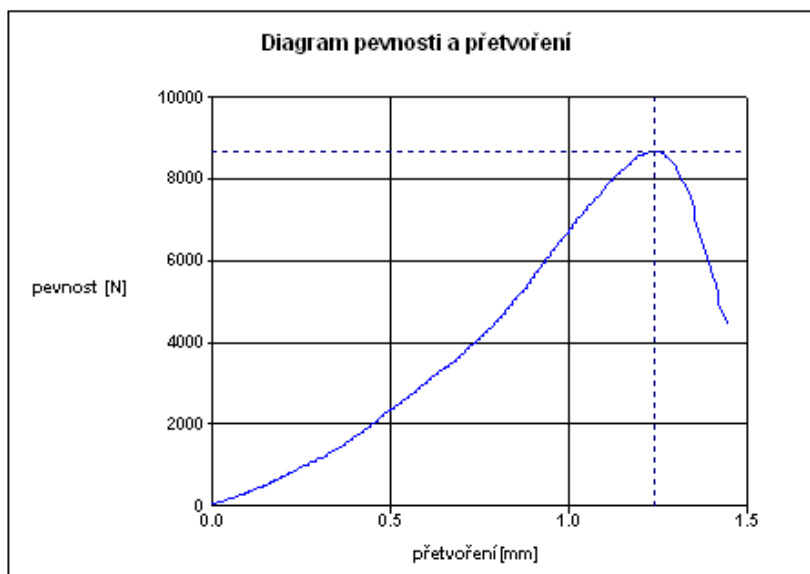
RMB vz. 1

citlivost pevnosti

7173 N

Bruch-Weg(e):

1,02 mm



datum: 18.6.2013

čas: 25:25:43

číslo vzorku:

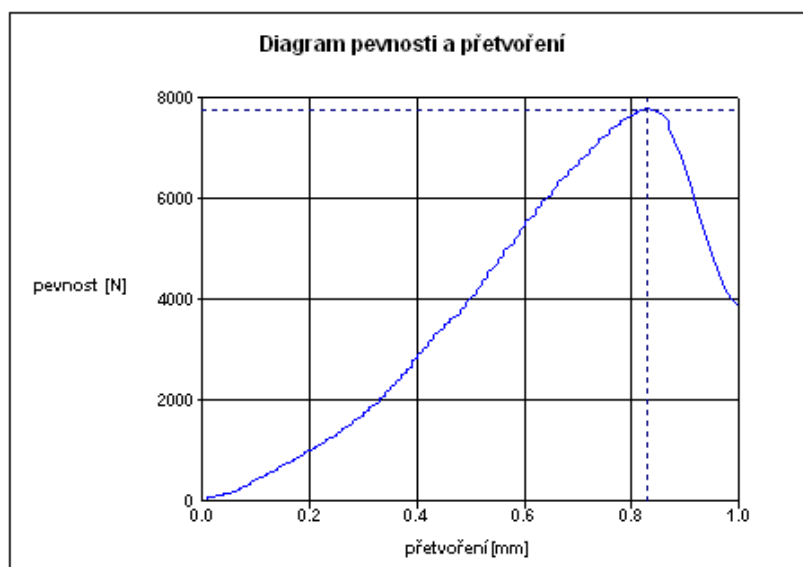
RMB vz. 2

citlivost pevnosti

8655 N

Bruch-Weg(e):

1,24 mm



datum: 18.6.2013

čas: 25:28:47

číslo vzorku:

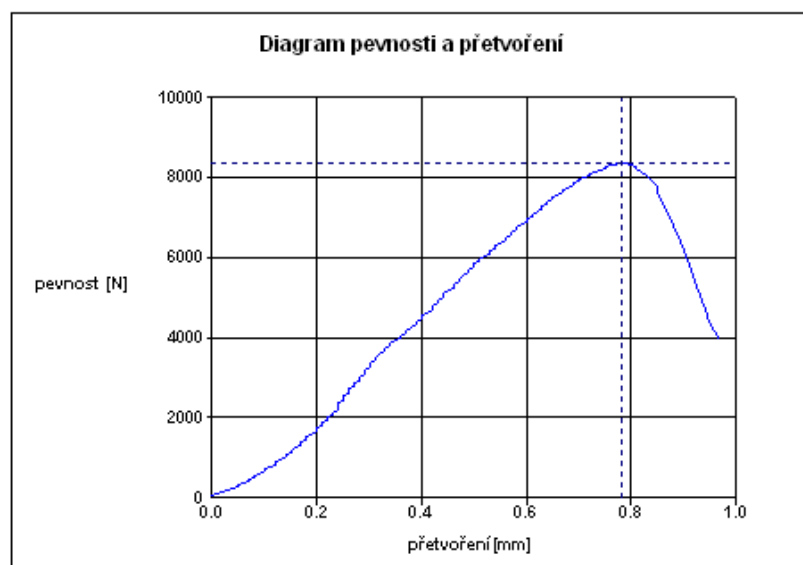
RMB vz. 3

citlivost pevnosti

7771 N

Bruch-Weg(e):

0,83 mm



datum: 18.6.2013

čas: 25:31:40

číslo vzorku:

RMB vz. 4

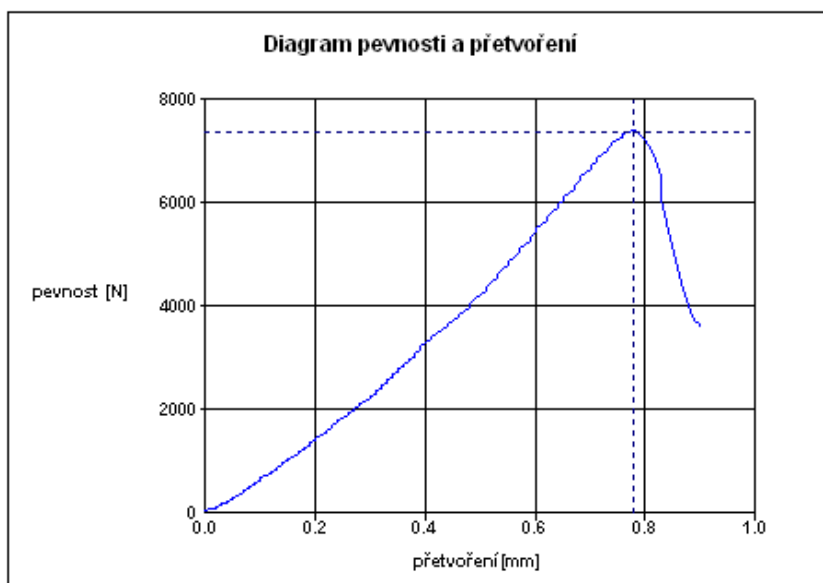
citlivost pevnosti

8350 N

Bruch-Weg(e):

0,78 mm

### 8.6.3. Směs RMB otevřená:



datum: 22.7.2013

čas: 23:54:14

číslo vzorku:

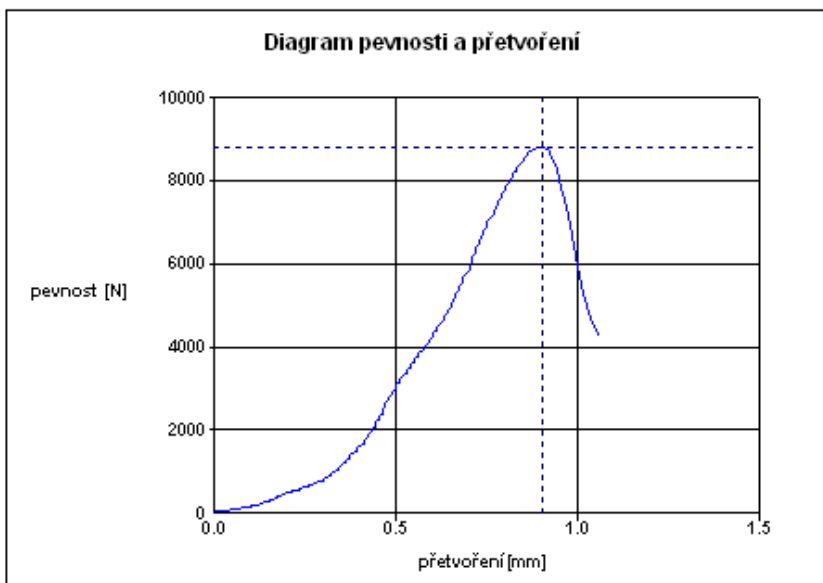
RMB otevřená vz. 1

citlivost pevnosti

7376 N

Bruch-Weg(e):

0,78 mm



datum: 22.7.2013

čas: 23:57:29

číslo vzorku:

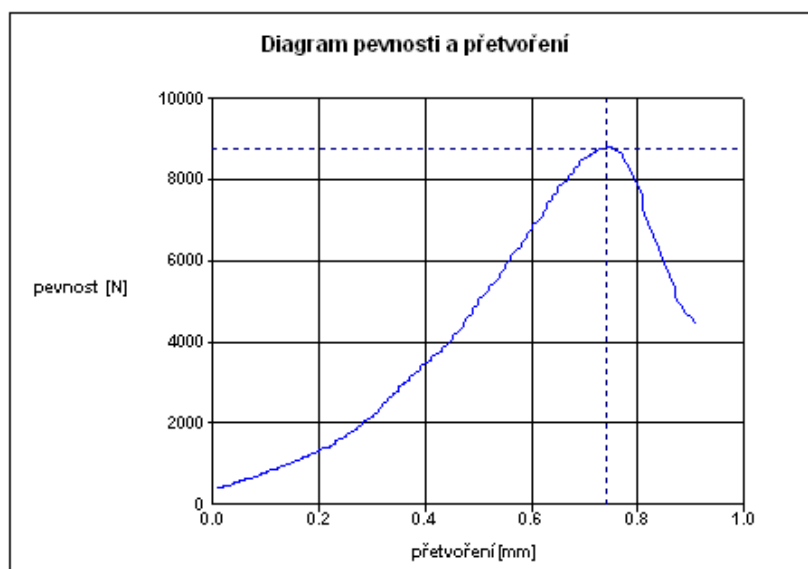
RMB otevřená vz. 2

citlivost pevnosti

8796 N

Bruch-Weg(e):

0,9 mm



datum: 22.7.2013

čas: 23:59:54

číslo vzorku:

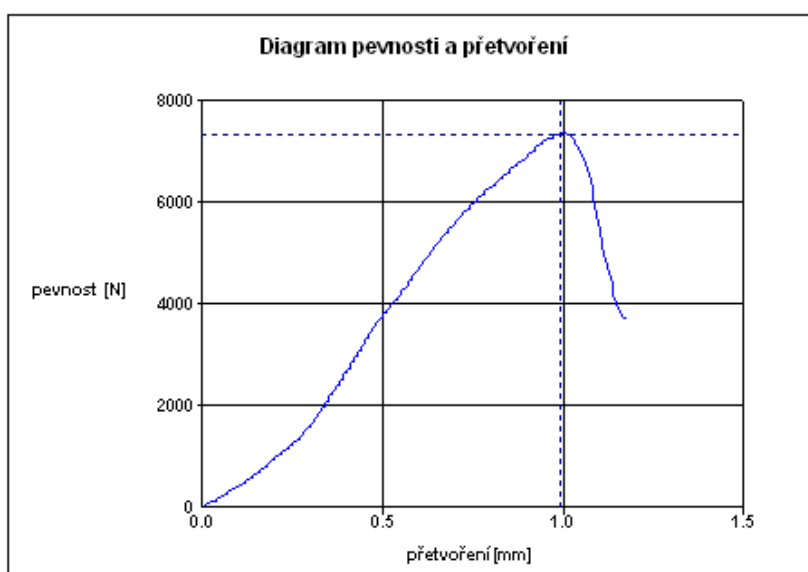
RMB otevřená vz. 3

citlivost pevnosti

8777 N

Bruch-Weg(e):

0,74 mm



datum: 22.7.2013

čas: 12:02:55

číslo vzorku:

RMB otevřená vz. 4

citlivost pevnosti

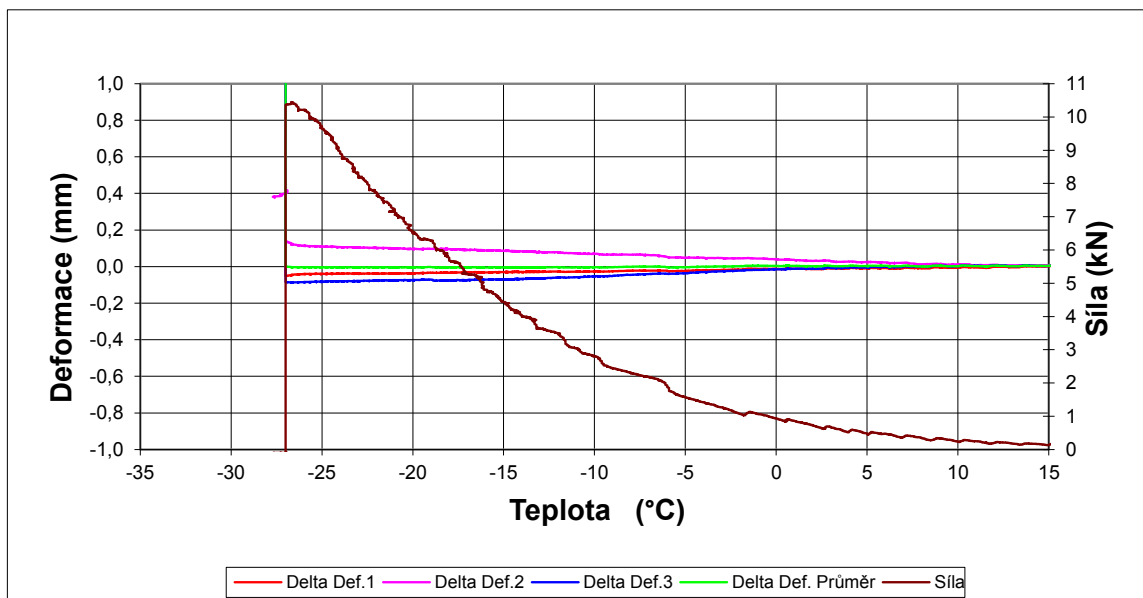
7338 N

Bruch-Weg(e):

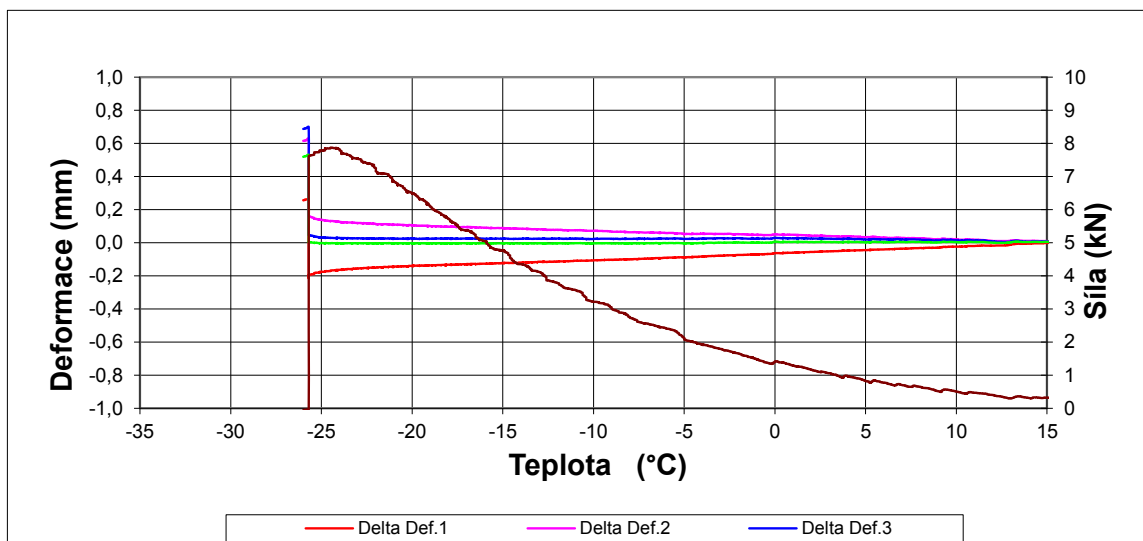
0,99 mm

## 8.7. Grafy ze zkoušky nízkoteplotních vlastností:

### 8.7.1. Směs RM+ zavřená:



### 8.7.2. Směs RMB zavřená:



### 8.7.3. Směs RMB otevřená:

